

电子电路设计、仿真与制作

# 常用电源电路设计及应用

周润景 张 赫 编著

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 提 要

本书介绍了 19 个典型的电源电路设计案例, 内容包含固定式单电源直流稳压电路设计、可调式单电源直流稳压电路设计、固定式双电源直流稳压电路设计、可调式双电源直流稳压电路设计、固定式稳流电源电路设计、可调式稳流电源电路设计、固定式倍压器直流稳压电源电路设计、逆变式直流稳压电源电路设计、升压式 DC/DC 电源电路设计、正负跟踪直流稳压电源电路设计、恒功率充电电路设计、可调式恒流源电路设计、交流稳压电源电路设计、固定式恒流源充电电路设计、数控直流稳压电源电路设计、可调式倍压器直流稳压电源电路设计、恒压源充电电路设计、压控恒流源电路设计、数控直流稳流电源电路设计。这些案例均来源于作者多年的实际科研项目, 因此具有很强的实用性。通过对本书的学习和实践, 读者能够很快掌握常用电源电路设计及应用方法。

本书适合电子电路设计爱好者自学使用, 也可作为高等学校相关专业课程设计、毕业设计及电子设计竞赛的指导书籍。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

常用电源电路设计及应用/周润景, 张赫编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.5

(电子电路设计、仿真与制作)

ISBN 978-7-121-31406-3

I. ①常… II. ①周… ②张… III. ①电源电路-电路设计 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 085017 号

策划编辑: 张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑: 夏平飞

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11.5 字数: 278 千字

版 次: 2017 年 5 月第 1 版

印 次: 2017 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhang@phei.com.cn。

# 前 言

随着科学技术的发展，电源电路在现代人的工作、科研、生活、学习中扮演着极为重要的角色。在我们使用的电子电路中，选用适当的电源电路进行供电是必不可少的。电源电路作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。

本书是作者对多年实践经验的整理和总结，读者通过对本书的学习，可以借鉴作者的研发思路和实践经验，能够尽快取得最佳的学习效果，这样无疑是找到了更有效的学习途径，减少了许多不必要的摸索时间。从实践性与技术性的角度来看，本书均有其独特的地方，对读者有一定的指导作用。

本书详细介绍了 19 个项目，包括固定式单电源直流稳压电路设计、可调式单电源直流稳压电路设计、固定式双电源直流稳压电路设计、可调式双电源直流稳压电路设计、固定式稳流电源电路设计、可调式稳流电源电路设计、固定式倍压器直流稳压电源电路设计、逆变式直流稳压电源电路设计、升压式 DC/DC 电源电路设计、正负跟踪直流稳压电源电路设计、恒功率充电电路设计、可调式恒流源电路设计、交流稳压电源电路设计、固定式恒流源充电电路设计、数控直流稳压电源电路设计、可调式倍压器直流稳压电源电路设计、恒压源充电电路设计、压控恒流源电路设计、数控直流稳流电源电路设计。每个项目电路都对其传感器及电路各组成部分进行了详细的说明，使读者可以清晰了解各个模块的具体功能，并实现整体电路的仿真设计。各设计除经仿真验证外，另已制成实物进行测试并达到了设计指标。

本书的内容来自作者的科研与实践，有关内容的讲解并没有过多的理论推导，而代之以实用的电路设计，因此实用是本书的一大特点。

本书力求做到精选内容，推陈出新；讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。本书语言生动精炼，内容详尽，并且包含了大量可供参考的实例。

本书由周润景、张赫编著。其中，张赫编写了项目 1 和项目 2，周润景负责其余项目的编写。全书由周润景统稿、定稿。另外，参加本书编写的还有邢婧、陈萌、井探亮、丁岩、谢亚楠、韩亦佺、刘艳珍、刘百灵、王洪艳、张红敏、张丽敏、周敬和宋志清。

在本书的编写过程中，作者力求完美，但由于水平有限，书中不足之处敬请读者批评指正。

作者





# 目 录

项目 1 固定式单电源直流稳压电路设计 .....	1
设计任务 .....	1
基本要求 .....	1
总体思路 .....	1
系统组成 .....	1
模块详解 .....	2
PCB 版图 .....	7
实物测试 .....	7
项目总结 .....	7
思考与练习 .....	8
特别提醒 .....	8
项目 2 可调式单电源直流稳压电路设计 .....	9
设计任务 .....	9
基本要求 .....	9
总体思路 .....	9
系统组成 .....	9
模块详解 .....	10
PCB 版图 .....	16
实物测试 .....	16
项目总结 .....	16
思考与练习 .....	17
特别提醒 .....	17
项目 3 固定式双电源直流稳压电路设计 .....	18
设计任务 .....	18
基本要求 .....	18
总体思路 .....	18
系统组成 .....	18
模块详解 .....	19
PCB 版图 .....	23
实物测试 .....	24
项目总结 .....	24
思考与练习 .....	24
特别提醒 .....	25
项目 4 可调式双电源直流稳压电路设计 .....	26

设计任务 .....	26
基本要求 .....	26
总体思路 .....	26
系统组成 .....	26
模块详解 .....	27
PCB 版图 .....	34
实物测试 .....	34
项目总结 .....	34
思考与练习 .....	35
特别提醒 .....	35
<b>项目 5 固定式稳流电源电路设计 .....</b>	<b>36</b>
设计任务 .....	36
基本要求 .....	36
总体思路 .....	36
系统组成 .....	36
模块详解 .....	37
PCB 版图 .....	40
实物测试 .....	40
项目总结 .....	41
思考与练习 .....	41
<b>项目 6 可调式稳流电源电路设计 .....</b>	<b>42</b>
设计任务 .....	42
基本要求 .....	42
总体思路 .....	42
系统组成 .....	42
模块详解 .....	43
PCB 版图 .....	48
实物测试 .....	48
项目总结 .....	48
思考与练习 .....	49
<b>项目 7 固定式倍压器直流稳压电源电路设计 .....</b>	<b>50</b>
设计任务 .....	50
基本要求 .....	50
总体思路 .....	50
系统组成 .....	50
模块详解 .....	51
PCB 版图 .....	55
实物测试 .....	55
项目总结 .....	56

思考与练习 .....	56
特别提醒 .....	56
<b>项目 8 逆变式直流稳压电源电路设计 .....</b>	<b>57</b>
设计任务 .....	57
基本要求 .....	57
总体思路 .....	57
系统组成 .....	57
模块详解 .....	58
PCB 版图 .....	64
实物测试 .....	64
项目总结 .....	64
思考与练习 .....	65
特别提醒 .....	65
<b>项目 9 升压式 DC/DC 电源电路设计 .....</b>	<b>66</b>
设计任务 .....	66
基本要求 .....	66
总体思路 .....	66
系统组成 .....	66
模块详解 .....	67
PCB 版图 .....	72
实物测试 .....	72
项目总结 .....	73
思考与练习 .....	73
特别提醒 .....	73
<b>项目 10 正负跟踪直流稳压电源电路设计 .....</b>	<b>74</b>
设计任务 .....	74
基本要求 .....	74
总体思路 .....	74
系统组成 .....	74
模块详解 .....	75
PCB 版图 .....	83
实物测试 .....	84
项目总结 .....	84
思考与练习 .....	84
特别提醒 .....	85
<b>项目 11 恒功率充电电路设计 .....</b>	<b>86</b>
设计任务 .....	86
基本要求 .....	86
总体思路 .....	86

系统组成 .....	86
模块详解 .....	87
PCB 版图 .....	92
实物测试 .....	92
项目总结 .....	92
思考与练习 .....	93
特别提醒 .....	93
<b>项目 12 可调式恒流源电路设计 .....</b>	<b>94</b>
设计任务 .....	94
基本要求 .....	94
总体思路 .....	94
系统组成 .....	94
模块详解 .....	95
PCB 版图 .....	100
实物测试 .....	100
项目总结 .....	101
思考与练习 .....	101
<b>项目 13 交流稳压电源电路设计 .....</b>	<b>102</b>
设计任务 .....	102
基本要求 .....	102
总体思路 .....	102
系统组成 .....	102
模块详解 .....	103
PCB 版图 .....	110
实物测试 .....	110
项目总结 .....	110
思考与练习 .....	111
特别提醒 .....	111
<b>项目 14 固定式恒流源充电电路设计 .....</b>	<b>112</b>
设计任务 .....	112
基本要求 .....	112
总体思路 .....	112
系统组成 .....	112
模块详解 .....	113
PCB 版图 .....	118
实物测试 .....	119
思考与练习 .....	119
特别提醒 .....	119
<b>项目 15 数控直流稳压电源电路设计 .....</b>	<b>120</b>

设计任务·····	120
基本要求·····	120
总体思路·····	120
系统组成·····	121
模块详解·····	121
PCB 版图·····	132
实物图·····	132
项目总结·····	132
思考与练习·····	133
特别提醒·····	133
<b>项目 16 可调式倍压器直流稳压电源电路设计</b> ·····	<b>134</b>
设计任务·····	134
基本要求·····	134
总体思路·····	134
系统组成·····	134
模块详解·····	135
PCB 版图·····	142
实物测试·····	143
项目总结·····	143
思考与练习·····	143
特别提醒·····	144
<b>项目 17 恒压源充电电路设计</b> ·····	<b>145</b>
设计任务·····	145
基本要求·····	145
总体思路·····	145
系统组成·····	145
模块详解·····	146
PCB 版图·····	151
实物测试·····	151
项目总结·····	152
思考与练习·····	152
特别提醒·····	152
<b>项目 18 压控恒流源电路设计</b> ·····	<b>153</b>
设计任务·····	153
基本要求·····	153
总体思路·····	153
系统组成·····	153
模块详解·····	154
PCB 版图·····	160

实物测试·····	160
项目总结·····	161
思考与练习·····	161
<b>项目 19 数控直流稳流电源电路设计</b> ·····	162
设计任务·····	162
基本要求·····	162
总体思路·····	162
系统组成·····	163
模块详解·····	163
PCB 版图·····	173
实物图·····	173
项目总结·····	174
思考与练习·····	174
特别提醒·····	174

## 项目 1 固定式单电源直流稳压电路设计

在我们使用的电子电路中，多数都需要稳定的直流电源进行供电。直流稳压电源作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。传统的多功能直流稳压电源功能简单、控制困难、可靠性低、干扰大、精度低且体积大。本项目所介绍的固定式单电源直流稳压电路与传统的稳压电源相比，具有操作方便、电压稳定度高等特点。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将市电转化成直流稳压 +5V。



### 基本要求

- ☺ 能够提供稳定的 +5V 直流稳压电源。
- ☺ 最大输出电流为 1A，电压调整率  $\leq 0.2\%$ ，负载调整率  $\leq 1\%$ ，纹波电压（峰-峰值） $\leq 5\text{mV}$ （最低输入电压下，满载）。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



### 总体思路

许多电子产品如电视机、电子计算机、音响设备等都需要直流电源，电子仪器也需要直流电源，实验室更需要独立的直流电源。为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。



### 系统组成

固定式单电源直流稳压电路整个系统主要分以下四个部分。

☺ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足 +5V 电源输出的需要。

☺ 整流电路：将交流电压变为单方向脉动的直流电压。

☺ 滤波电路：去掉整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。

☺ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。

系统模块框图如图 1-1 所示。

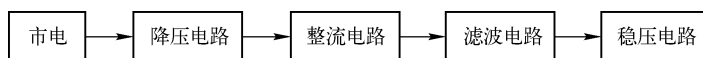


图 1-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。

整流电路原理图如图 1-2 所示。整流电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 1-3 所示。

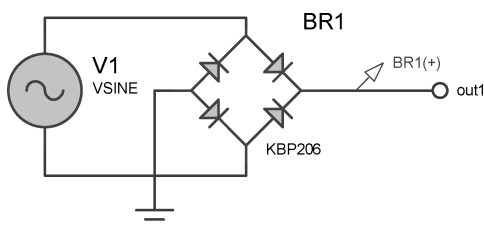


图 1-2 整流电路原理图

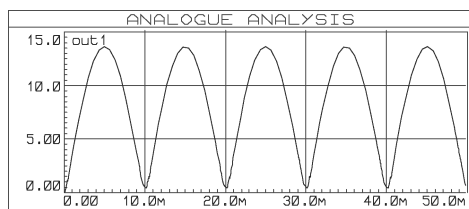


图 1-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 1-4 所示，将电压输入设置为 15V，频率设置为 50Hz，模仿市电经变压后的低压交流电源输入。

### 2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小，可以满足放电时间常数较大的条件，所以输出电压波形的放电段比较平缓，纹波较小，输出脉动系数  $S$  小，输出平均电压  $U_0$  大，具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联，正半周时电容被充电，负半周时电容放电，就可使负载上得到平滑的直流电。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容  $C_1 = 1000\mu\text{F}$ ，用于电源滤波，其后并入电解电容  $C_2 = 4.7\mu\text{F}$  用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容  $C_3 = 4.7\mu\text{F}$  用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容  $C_4 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段比较明显，所以不能抑制高频干扰）。滤波电路如图 1-5 所示。



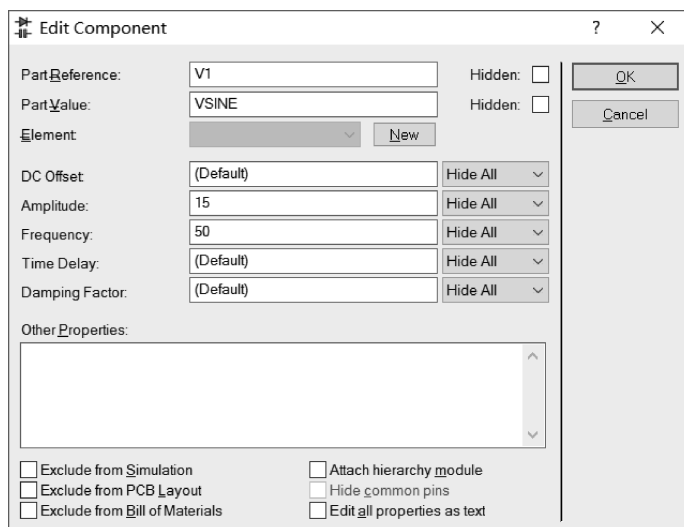


图 1-4 电流输入设置

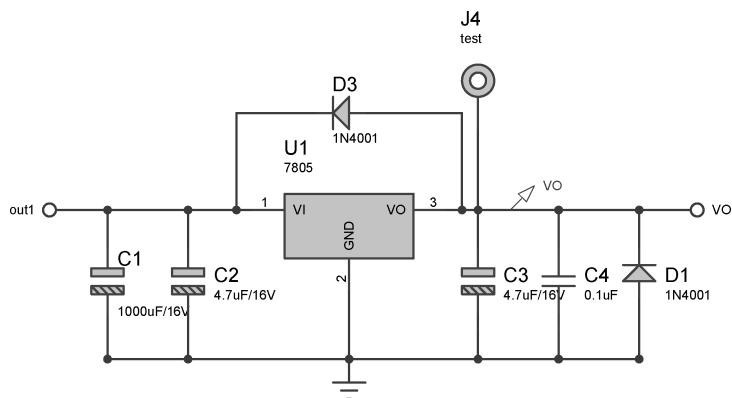


图 1-5 滤波电路

为了验证滤波电路的效果，以前端滤波电路（见图 1-6）为例进行分析。前端滤波电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 1-7 所示。

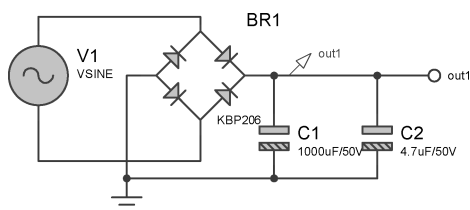


图 1-6 前端滤波电路

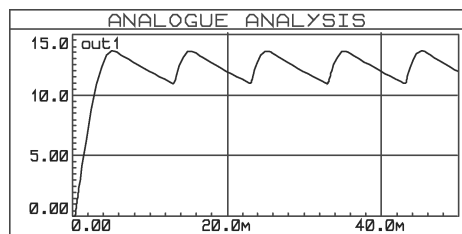


图 1-7 前端滤波电路输出仿真图

为了验证滤波电容的效果，在原电路输入基础上将滤波电容  $C_1$  改为  $100\mu\text{F}$ ，输入信号依然为  $15\text{V}$ 、 $50\text{Hz}$  的交流信号，设置方法如图 1-8 所示。利用软件图表功能仿真 out1 端输出波形，如图 1-9 所示。

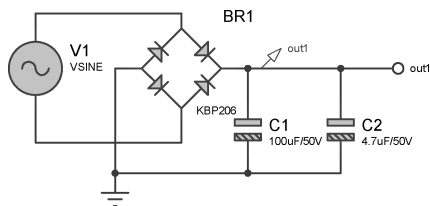


图 1-8 调节  $C_1$  后的滤波电路

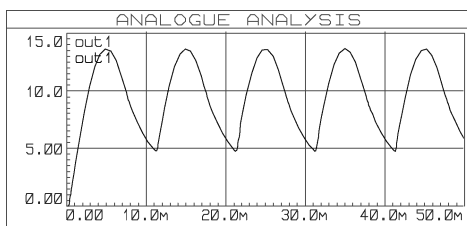


图 1-9 调节  $C_1$  后的滤波电路输出仿真图

如图 1-9 所示，滤波电路中电容大小直接影响电路的滤波效果。若将电容值设置过小，电路的滤波效果也会减弱。

综上所述，输入的交流信号经整流电路整流，又经滤波电路，最终将稳定有效的电压由 out1 端传输至稳压电路模块。可见，滤波电路在电路设计中是十分重要的。

### 3. 稳压电路

使用三端稳压器有以下优点。

- (1) 元件数量少。
- (2) 带有限流电路，输出短路时不会损坏元件。
- (3) 带有热击穿功能。

三端稳压器选择 7805（输出电压为 +5V，最大输出电流为 1A，且稳压器内部已有限流电路），在输出端并入二极管  $D_1$ （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。

图 1-10 所示为稳压电路仿真结果，可见由稳压器输出端 VO 经滤波输出 +4.94V 稳定直流电压。

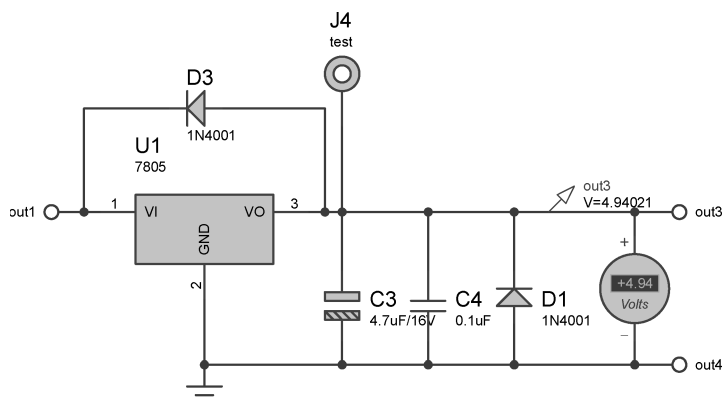


图 1-10 稳压电路空载输出仿真图

三端稳压器最易损坏的是输出脚（图 1-10 中 3 脚）电压高于输入脚（图 1-10 中 1 脚）而形成击穿，因此一般像图 1-10 中  $D_3$  那样并联一个二极管 1N4001，它的主要作用是：如果输入端  $C_1$  或  $C_2$  出现短路，则输出 3 脚会高于输入 1 脚，很容易击穿稳压器，所以反向并联一个二极管，对 2 脚电压进行泄放，使 3 脚到 1 脚电压限幅为 0.7V，可有效保护稳压器不被反向击穿。

稳压电路空载输出如图 1-11 所示。

在稳压输出 out3 端接入 300Ω 电阻与 LED 负载进行稳压测试，如图 1-12 所示。

加入  $300\Omega$  电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为  $4.93\text{V}$ ，并可将 LED 点亮。用示波器监视稳压电路输出  $VO$ ，结果如图 1-13 所示。

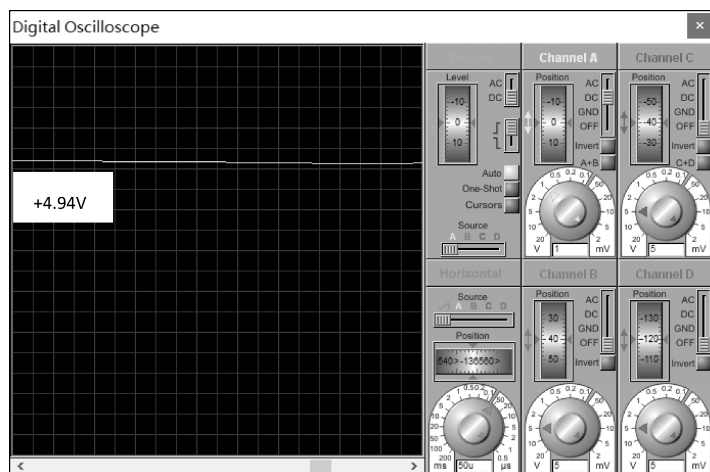


图 1-11 稳压电路空载输出

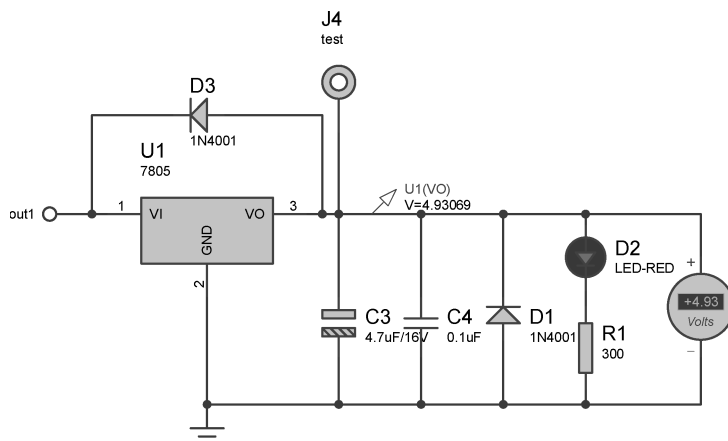


图 1-12 稳压电路负载输出仿真图（一）

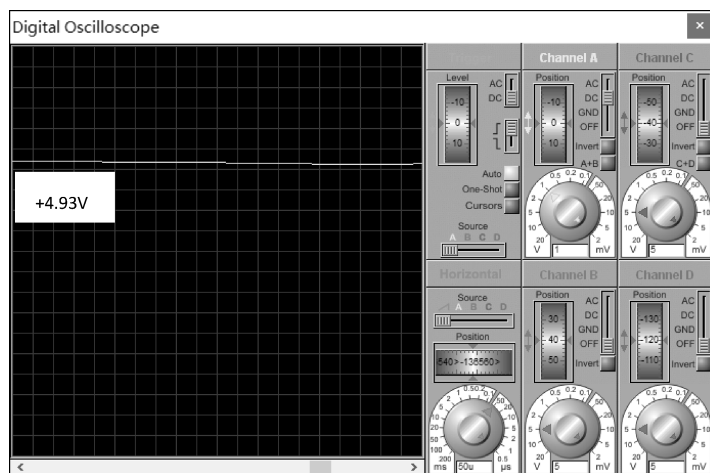


图 1-13 稳压电路负载输出显示（一）

随后在稳压器输出端 VO 处加入  $2\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载，仿真结果如图 1-14 所示。

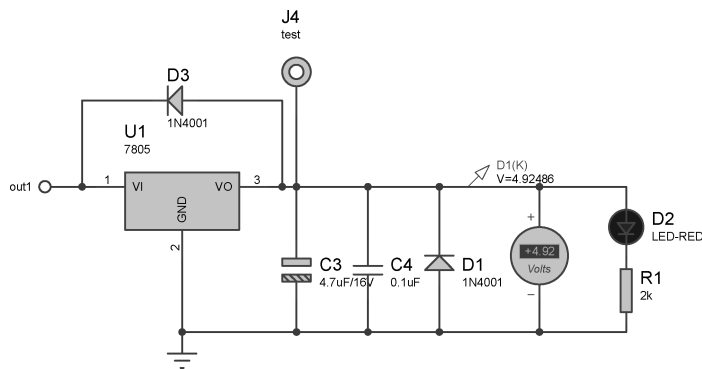


图 1-14 稳压电路负载输出仿真图（二）

加入  $2\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为  $4.92\text{V}$ ，并可将 LED 点亮，如图 1-15 所示。

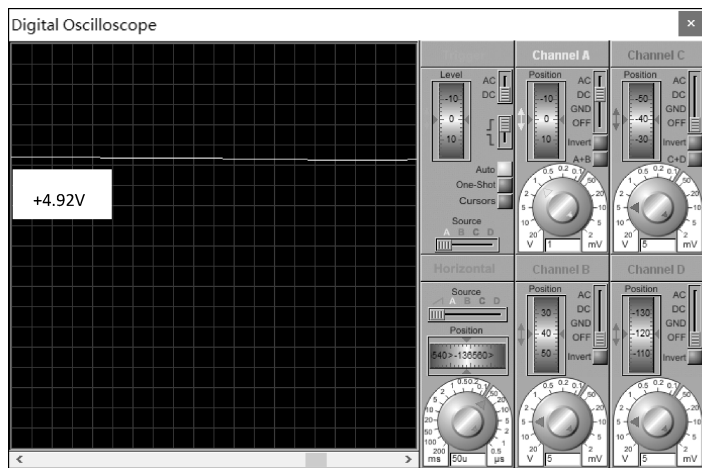


图 1-15 稳压电路负载输出显示（二）

综上所述，本项目所设计的固定式直流稳压电源，能够在负载变化的情况下提供稳定的  $+5\text{V}$  直流稳压电源。固定式单电源直流稳压电路整体电路原理图如图 1-16 所示。

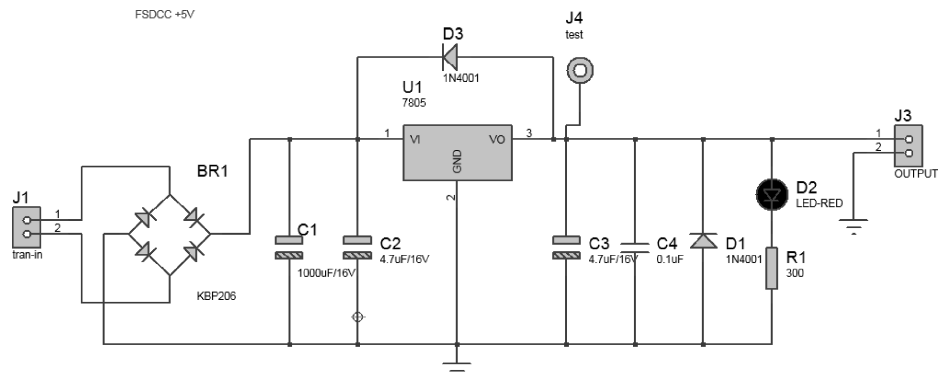


图 1-16 整体电路原理图

经过对电路板的实际测试，测试结果显示输出电压为 5.0V，设计要求单电源输出 5V 电压，实测符合设计要求。



## PCB 版图（见图 1-17）

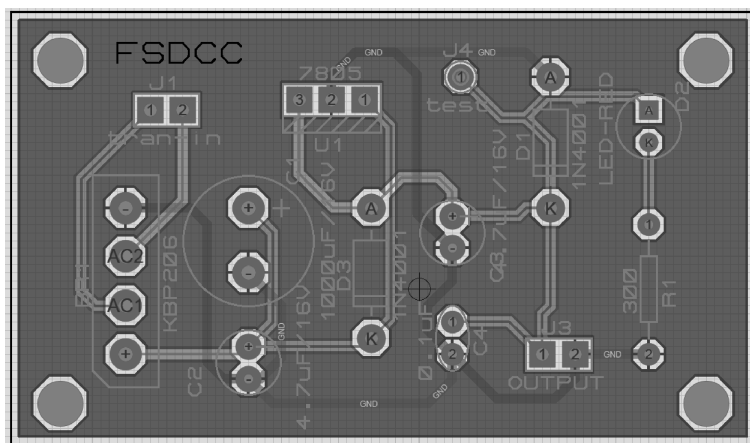


图 1-17 PCB 版图



## 实物测试（见图 1-18、图 1-19）

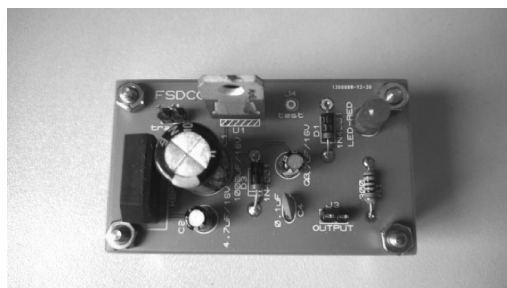


图 1-18 固定式单电源直流稳压电路实物图



图 1-19 固定式单电源直流稳压电路测试图



## 项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将

交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电。本项目所介绍的稳压电路测试显示输出电压为 5.0V，设计要求单电源输出 5V 电压，实测符合设计要求。



## 思考与练习

(1) 在设计电源电路时，如何根据电源的要求对器件进行选择？

答：二极管的选择要满足额定电压值和额定电流值。

(2) 电源电路中对输入电压有何要求？

答：为了使三端稳压器 7805 能够正常工作，输入电压必须保证在 8V 以上。7805 正常工作时输入输出之间的电压差必须在 3V 以上。

(3) 如何验证设计电路是否满足设计要求参数？

答：利用 Proteus 软件对电路进行仿真，用电压探针和图表观察输出电压值，通过改变负载电阻得到最大输出电流并可以观察电流调整率和电压调整率，以此验证电路是否满足设计要求。



## 特别提醒

当供电时间过长时，需要对三端稳压器安装散热片进行散热。

## 项目2 可调式单电源直流稳压电路设计

直流稳压电源在现代人的工作、科研、生活、学习中扮演着极为重要的角色。在我们使用的电子电路中，多数都需要稳定的直流电源进行供电。直流稳压电源作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。传统的多功能直流稳压电源功能简单、控制困难、可靠性低、干扰大、精度低且体积大。本项目所介绍的可调式单电源直流稳压电路在固定式单电源直流稳压电路的基础上，具有电压可控、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测，可用于电源精度要求比较高的设备或科研实验。



### 设计任务

设计一个可调的直流稳压电源，将市电转化成直流稳压 +5V。



### 基本要求

- ☺ 能够提供可调的 0 ~ +5V 直流稳压电源。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



### 总体思路

许多电子产品如电视机、电子计算机、音响设备等都需要直流电源，电子仪器也需要直流电源，实验室更需要独立的直流电源。为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。



### 系统组成

可调式单电源直流稳压电路整个系统主要分以下四个部分。

☺ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足 +5V 电源输出的需要。

☺ 整流电路：将交流电压变为单向脉动的直流电压。

☺ 滤波电路：去掉整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。

☺ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。

系统模块框图如图 2-1 所示。

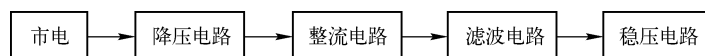


图 2-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。整流电路原理图如图 2-2 所示。整流电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 2-3 所示。

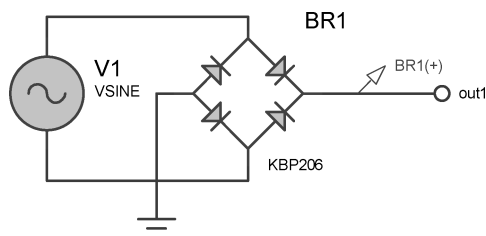


图 2-2 整流电路原理图

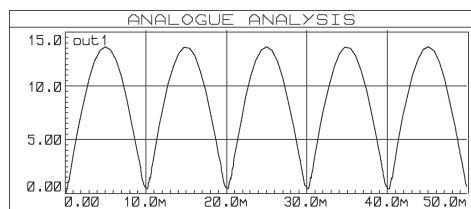


图 2-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 2-4 所示，将电压输入设置为 15V，频率设置为 50Hz，模仿市电经变压后的低压交流电源输入。

### 2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小，可以满足放电时间常数较大的条件，所以输出电压波形的放电段比较平缓，纹波较小，输出脉动系数  $S$  小，输出平均电压  $U_o$  大，具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联，正半周时电容被充电，负半周时电容放电，就可使负载上得到平滑的直流电。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容  $C_1 = 1000\mu\text{F}$ ，用于电源滤波，其后并入电解电容  $C_2 = 4.7\mu\text{F}$  用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容  $C_3 = 4.7\mu\text{F}$  用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容  $C_4 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段



比较明显，所以不能抑制高频干扰)。滤波电路原理图如图 2-5 所示。

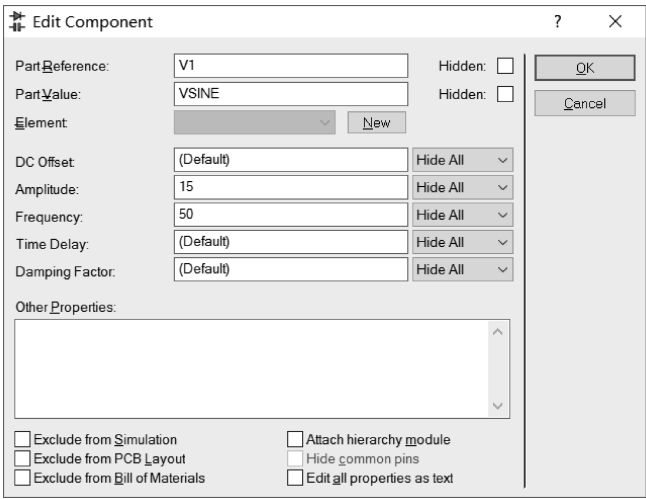


图 2-4 电流输入设置

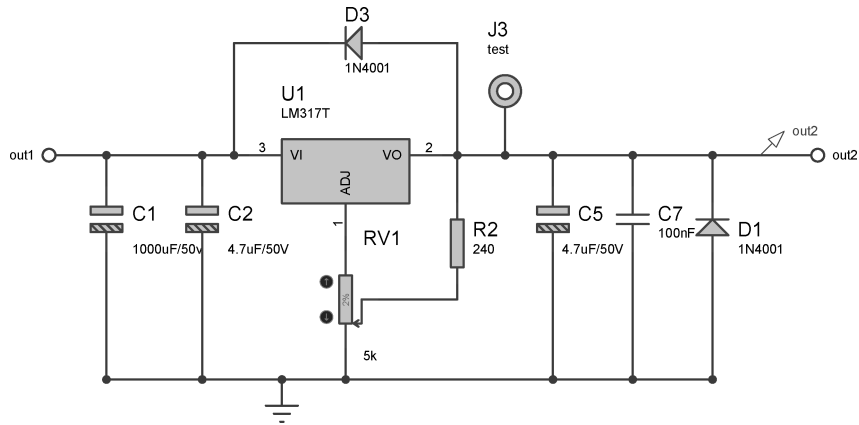


图 2-5 滤波电路原理图

为了验证滤波电路的效果，以前端滤波电路（见图 2-6）为例进行分析。前端滤波电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 2-7 所示。

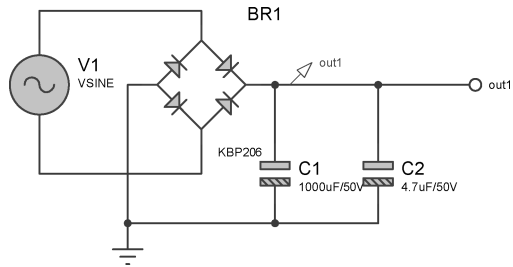


图 2-6 前端滤波电路

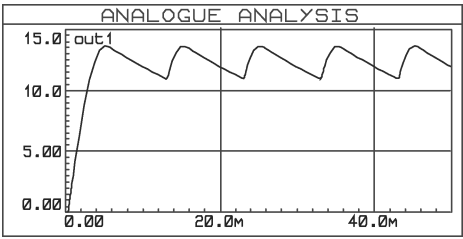


图 2-7 整流电路输出仿真图

为了验证滤波电容的效果，在原电路输入基础上将滤波电容  $C_1$  改为  $100\mu\text{F}$ ，输入信号依然为  $15\text{V}$ 、 $50\text{Hz}$  的交流信号，设置方法如图 2-8 所示。利用软件图表功能仿真 out1 端输出波形，如图 2-9 所示。

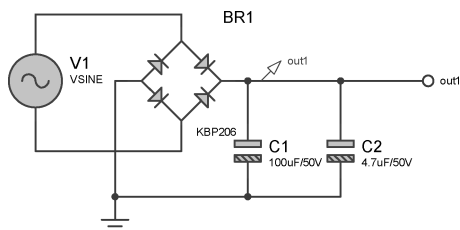


图 2-8 调节  $C_1$  后的滤波电路

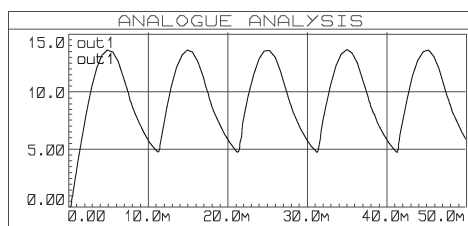


图 2-9 调节  $C_1$  后的滤波电路输出仿真图

如图 2-9 所示，滤波电路中电容大小直接影响电路的滤波效果。若将电容值设置过小，电路的滤波效果也会减弱。

综上所述，输入的交流信号经整流电路整流，又经滤波电路，最终将稳定有效的电压由 out1 端传输至稳压电路模块。可见，滤波电路在电路设计中是十分重要的。

### 3. 稳压电路

使用三端稳压器有以下优点。

- (1) 元件数量少。
- (2) 带有限流电路，输出短路时不会损坏元件。
- (3) 带有热击穿功能。

三端稳压器选择 LM317（输出电流为  $1.5\text{A}$ ，输出电压可在  $1.25 \sim 37\text{V}$  之间连续调节），其输出电压由两只外接电阻  $R_2$ 、 $R_{V1}$  决定，输出端和调整端之间的电压差为  $1.25\text{V}$ 。在输出端同时并入二极管  $D_1$ （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。

电源信号由 out1 端输入至三端稳压器，利用  $R_{V1}$  控制输出电压大小，调节  $R_{V1}$  电位器至位置 1（2%）处，此时输出电压为  $2.12\text{V}$ ，负载 LED 不点亮，电路仿真结果如图 2-10 所示。

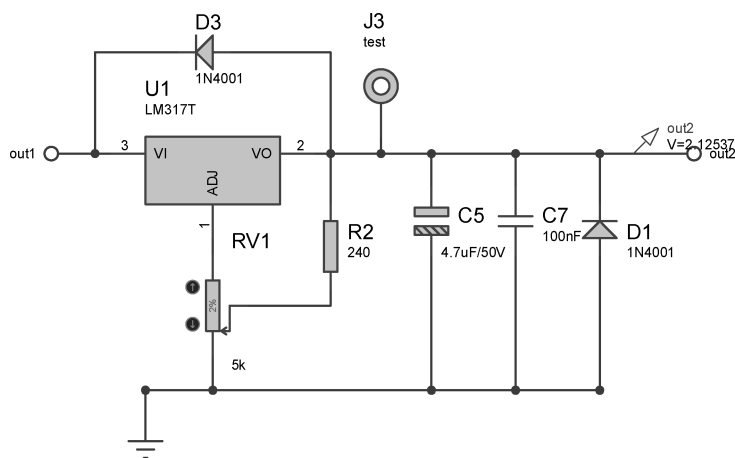


图 2-10  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路仿真图

三端稳压器最易损坏的是输出脚（图 2-10 中 2 脚）电压高于输入脚（图 2-10 中 3 脚）而形成击穿，因此一般像图 2-10 中那样并联一个二极管 1N4001，它的主要作用是：如果输入端  $C_1$  或  $C_2$  出现短路，则输出 2 脚会高于输入 3 脚，很容易击穿稳压器，所以反向并联一个二极管，对 1 脚电压进行泄放，使 2 脚到 3 脚电压限幅为 0.7V，可有效保护稳压器不被反向击穿。

用示波器监视  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路空载输出端 out2，结果如图 2-11 所示。

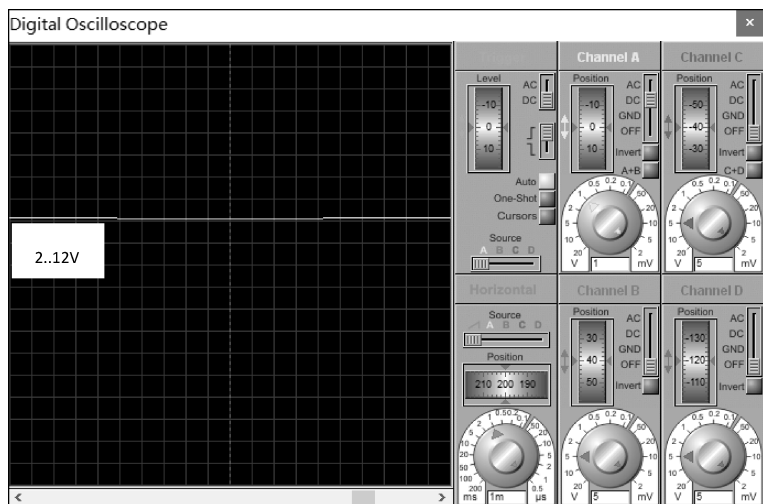


图 2-11  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路空载输出仿真图

调节  $R_{V1}$ ，使其到达位置 2（16%），则稳压电路输出端 out2 电压也会增大。此时输出电压为 6.37V，负载 LED 被点亮，如图 2-12 所示。

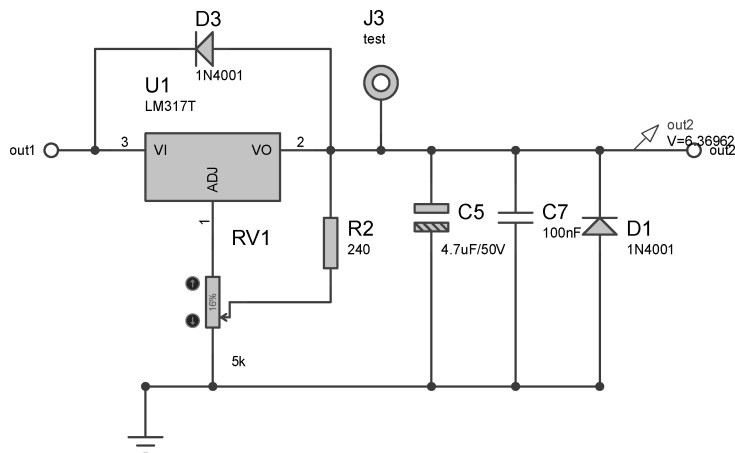


图 2-12  $R_{V1}$  处于位置 2 时稳压电路仿真图

用示波器监视高档位稳压电路输出，结果如图 2-13 所示。

在稳压输出端 out2 处接入 2k $\Omega$  电阻与 LED 负载进行稳压测试，如图 2-14 所示。

加入 2k $\Omega$  电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为 6.37V，并可将 LED 点亮。用示波器监视稳压电路输出，结果如图 2-15 所示。

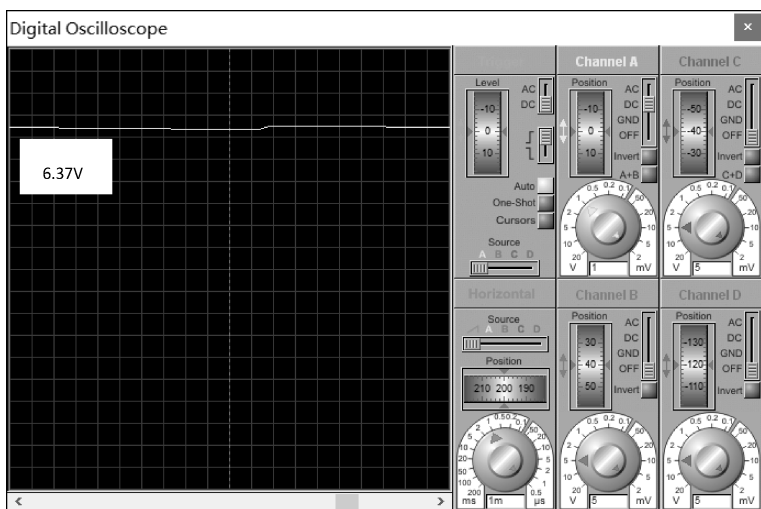


图 2-13  $R_{V1}$  处于位置 2 时稳压电路输出仿真图

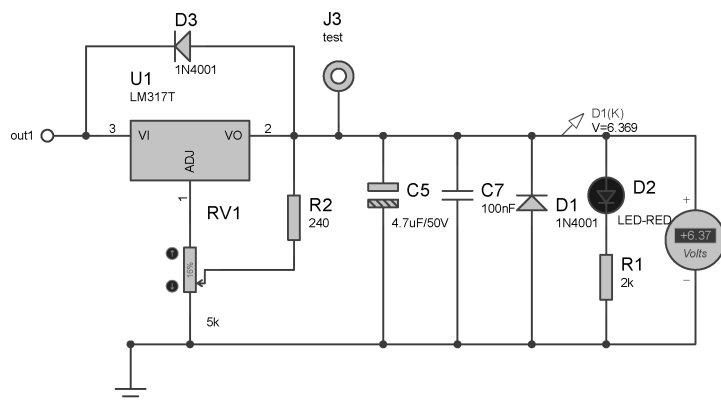


图 2-14 稳压电路负载输出仿真图（一）

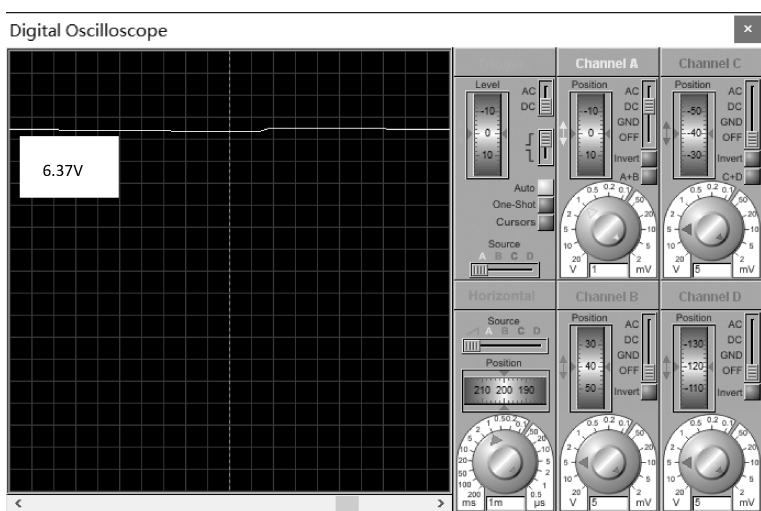


图 2-15 稳压电路负载输出显示（一）

随后在稳压器输出端 out2 处加入  $5k\Omega$  电阻与 LED 负载进行测试，如图 2-16 所示。

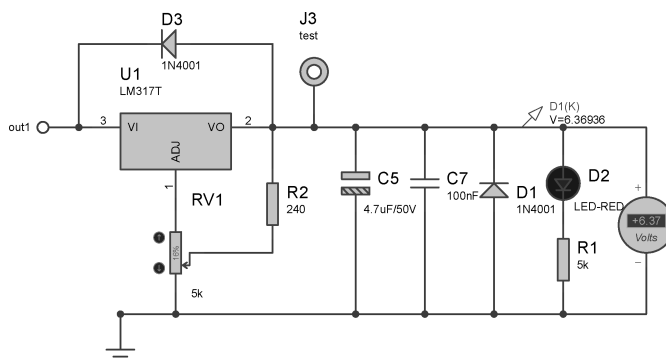


图 2-16 稳压电路负载输出仿真图（二）

加入  $5k\Omega$  电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为 6.37V，并可将 LED 点亮。用示波器监视稳压电路当前输出，结果如图 2-17 所示。

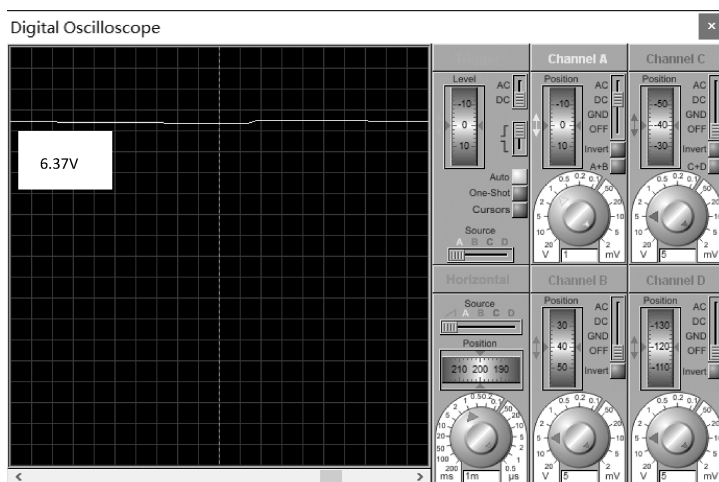


图 2-17 稳压电路负载输出显示（二）

综上所述，本项目所设计的可调式直流稳压电源，能够在负载变化的情况下提供稳定可调的直流稳压电源。

可调式单电源直流稳压电路的整体电路原理图如图 2-18 所示。

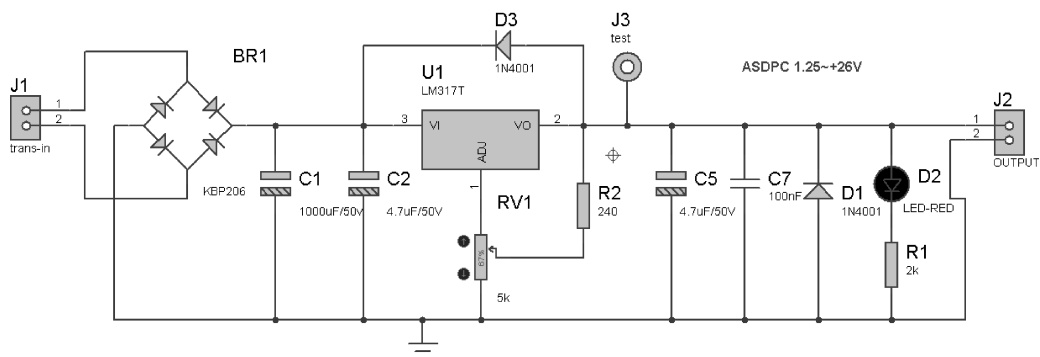


图 2-18 整体电路原理图

经过对电路板进行实际测试，输入 15V 交流电压，输出可以在 1.48 ~ 14.84V 之间可调，基本符合设计要求。



PCB 版图（见图 2-19）

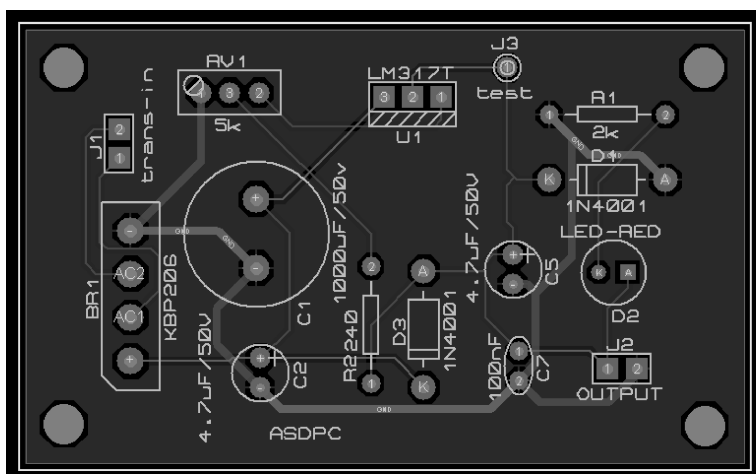


图 2-19 PCB 版图



实物测试（见图 2-20、图 2-21）

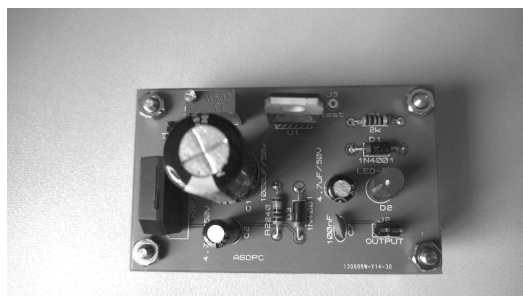


图 2-20 可调式单电源直流稳压电路实物图

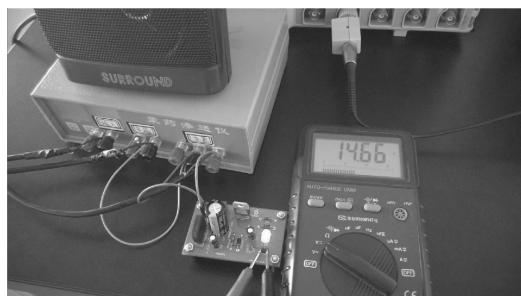


图 2-21 可调式单电源直流稳压电路测试图



## 项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将

交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分(即纹波电压)，使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。本项目所介绍的可调式单电源直流稳压电路在固定式单电源直流稳压电路的基础上，具有电压可控、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测，可用于电源精度要求比较高的设备或科研实验。



## 思考与练习

(1) 在设计可调稳压电源电路时，如何实现电路可调功能？

答：使用电位器控制 LM317 的 1 脚电压，从而控制 LM317 的直流电压输出值，实现了电路的可调功能。

(2) 电源电路中对输入电压有何要求？

答：为了使三端稳压器 LM317 能够正常工作，输入电压必须保证为 30V。



## 特别提醒

当供电时间过长时，需要对三端稳压器安装散热片进行散热。

## 项目3 固定式双电源直流稳压电路设计

日常生活中恒压源很常见，蓄电池、干电池是直流恒压电源，而 220V 交流电，则可认为是一种交流恒压电源，因为它们的输出电压是基本不变的，是不随输出电流的大小而大幅变化的。本项目所介绍的固定式双电源直流稳压电路，可将交流电源转化为要求的直流电源，具有操作方便、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将市电转化成直流稳压  $\pm 15\text{V}$ 。



### 基本要求

- ☺ 能够提供稳定的  $\pm 15\text{V}$  直流稳压电源。
- ☺ 最大输出电流为 1A，电压调整率  $\leq 0.2\%$ ，负载调整率  $\leq 1\%$ ，纹波电压（峰-峰值） $\leq 5\text{mV}$ （最低输入电压下，满载）。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



### 总体思路

通过变压器将市电 220V 交流电压降压为电源电路所需电压，经过整流使交流信号转换成直流信号。设置滤波电路减小电压纹波并抑制高频干扰，使用稳压电路保持输出电压稳定，从而得到稳定输出的直流电源电压。



### 系统组成

固定式双电源直流稳压电路整个系统主要分以下四个部分。

- ☺ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足  $\pm 15\text{V}$  电源输出的需要。
- ☺ 整流电路：将交流电压变为单方向脉动的直流电压。
- ☺ 滤波电路：去掉整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑



的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。

③ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。

系统模块框图如图 3-1 所示。

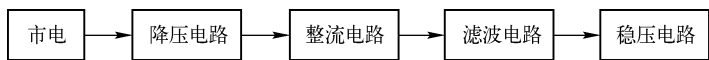


图 3-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。整流电路原理图如图 3-2 所示。整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 3-3 所示。

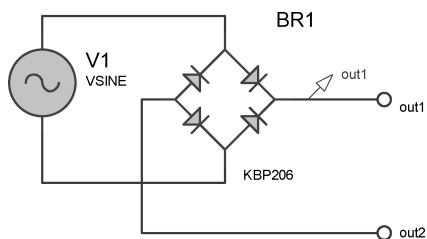


图 3-2 整流电路原理图

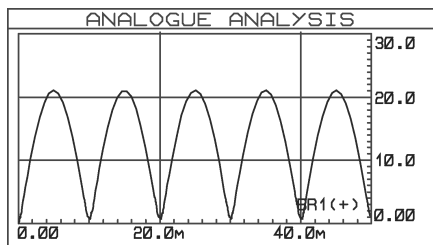


图 3-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 3-4 所示，为了模仿市电经降压后的输入电压，将电压输入设置为 50V，频率设置为 50Hz。

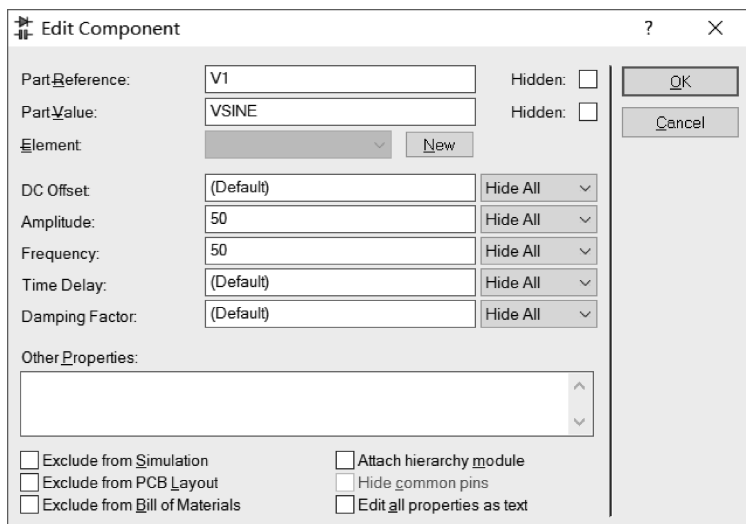


图 3-4 电流输入设置

## 2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小,可以满足放电时间常数较大的条件,所以输出电压波形的放电段比较平缓,纹波较小,输出脉动系数  $S$  小,输出平均电压  $U_0$  大,具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联,正半周时电容被充电,负半周时电容放电,就可使负载上得到平滑的直流电。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容  $C_1 = C_3 = 1000\mu\text{F}$ ,用于电源滤波,其后并入电解电容  $C_2 = C_4 = 4.7\mu\text{F}$  用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容  $C_5 = C_6 = 4.7\mu\text{F}$  用于减小电压纹波,而并入陶瓷电容  $C_7 = C_8 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰(陶瓷小电容电感效应很小,可以忽略,而电解电容因为电感效应在高频段比较明显,所以不能抑制高频干扰)。滤波电路如图 3-5 所示。

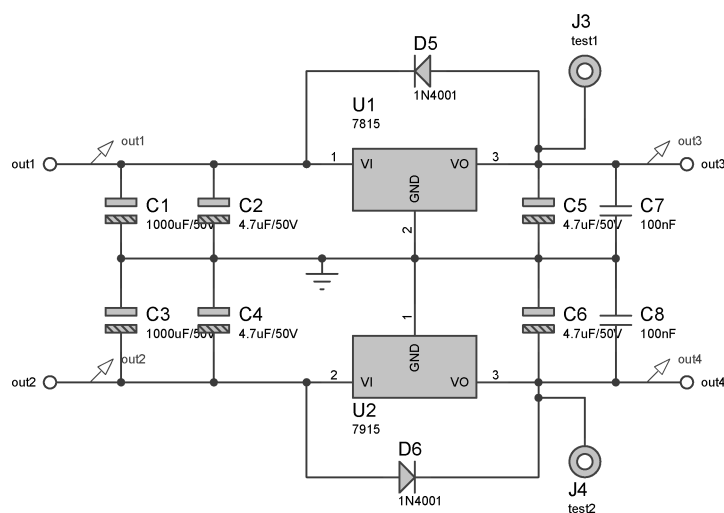


图 3-5 滤波电路

为了验证滤波电路的效果,以前端滤波电路(见图 3-6)为例进行分析。前端滤波电路输出用示波器监视,仿真结果如图 3-7 所示。

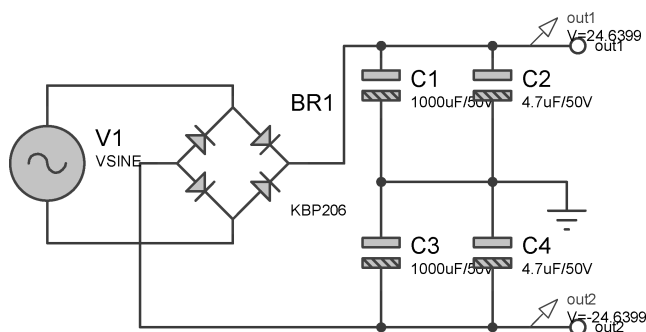


图 3-6 前端滤波电路

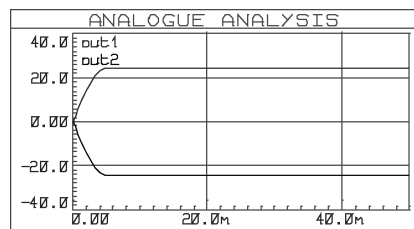


图 3-7 整流电路输出仿真图

若我们试图将  $C_1$  电容值调整为  $100\mu\text{F}$ , 如图 3-8 所示, 则会导致电路输出端 out1 与 out2 输出电压大小不等。滤波电路输出端 out1 与 out2 处加入探针, 用图表显示其输出结果, 如图 3-9 所示。

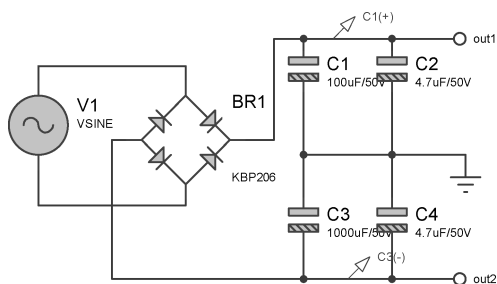


图 3-8 调节  $C_1$  后的滤波电路

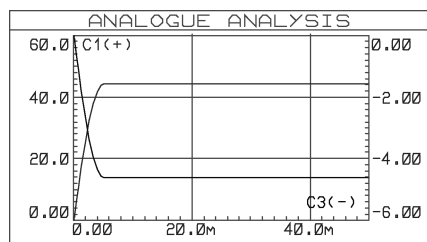


图 3-9 调节  $C_1$  后滤波电路输出仿真图

如图 3-9 所示，本电路中滤波电路中电容大小除影响电路的滤波效果外，还影响到电桥的整流输出。若上下电路滤波效果不同，则不会输出大小相等的直流电压有效值，即不会输出大小相等的直流正负电压。

可见滤波电路在电路出现干扰时能够保证电路的稳定工作，从而输出稳定的电压，这在电路设计中是十分重要的。

### 3. 稳压电路

使用三端稳压器有以下优点。

- (1) 元件数量少。
- (2) 带有限流电路，输出短路时不会损坏元件。
- (3) 带有热击穿功能。

三端稳压器选择 7815、7915，在输出端同时并入二极管  $D_5$ 、 $D_6$ （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。输出端 out3、out4 分别可输出 +15V 与 -15V 电压，并驱动 LED 发光，稳压电路空载输出仿真图如图 3-10 所示。

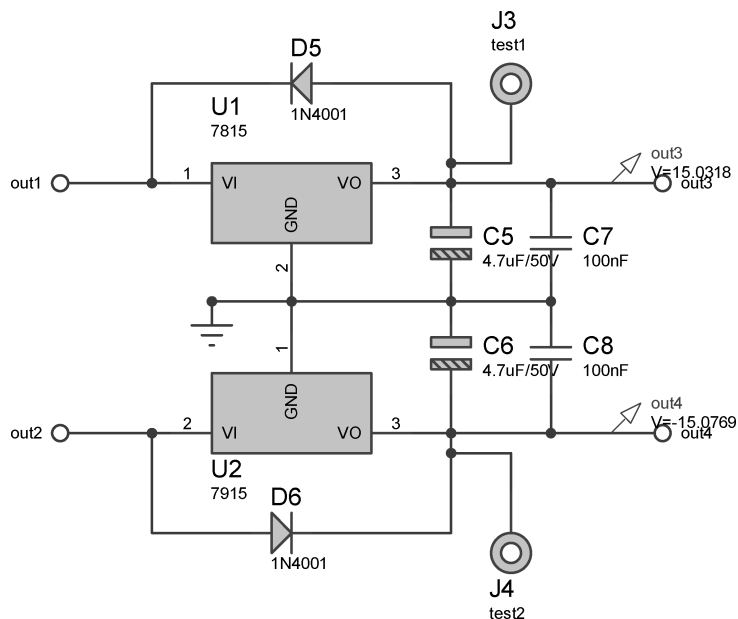


图 3-10 稳压电路空载输出仿真图

用图表功能记录稳压电路空载输出，如图 3-11 所示。

如图 3-11 所示，三端稳压器 7815、7915 可输出稳定  $\pm 15\text{V}$  直流电压。



注意

为了使三端稳压器 7815、7915 能够正常工作，输入电压必须保证为  $18\text{V}$ 。7815、7915 正常工作时输入输出之间的电压差必须在  $3\text{V}$  以上。为此，使用 7815/7915 时输入电压应在  $18\text{V}$  以上，最大输入电压不超过  $35\text{V}$ 。

稳压器 7815、7915 输出端 out3、out4 处接入  $2\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 3-12 所示。稳压电路输出为两个稳定的  $\pm 15\text{V}$  电压，输出仿真结果如图 3-13 所示。

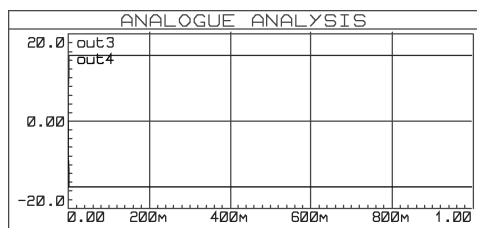


图 3-11 稳压电路输出仿真图

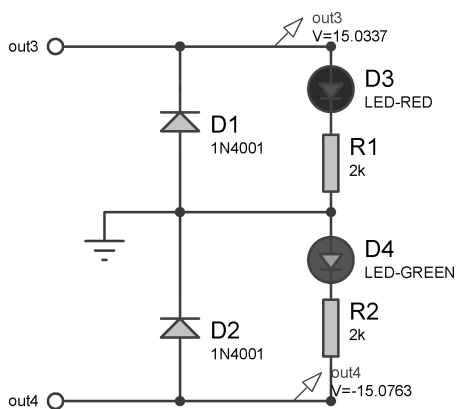


图 3-12 稳压电路负载输出仿真图（一）

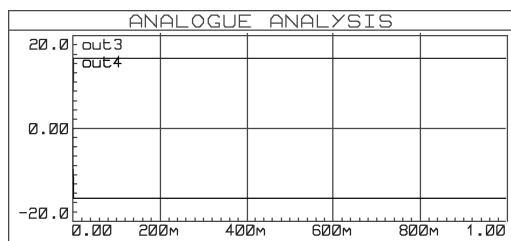


图 3-13 稳压电路负载输出显示（一）

稳压器 7815、7915 输出端 out3、out4 处接入  $10\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 3-14 所示。稳压电路输出为两个稳定的  $\pm 15\text{V}$  电压，输出仿真结果如图 3-15 所示。

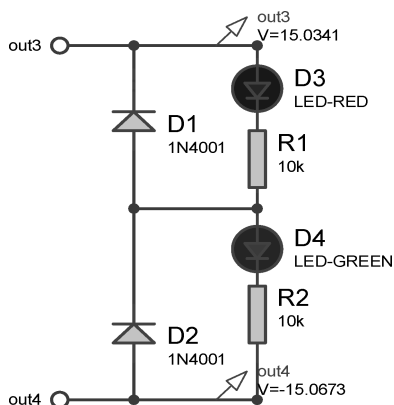


图 3-14 稳压电路负载输出仿真图（二）

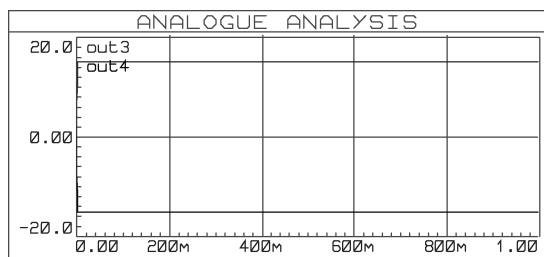


图 3-15 稳压电路负载输出显示（二）

综上所述，本项目所设计的固定式双电源直流稳压电源，能够在负载变化的情况下提供稳定的  $\pm 15\text{V}$  直流稳压电源，满足设计指标。

固定式双电源直流稳压电路的整体电路原理图如图 3-16 所示。

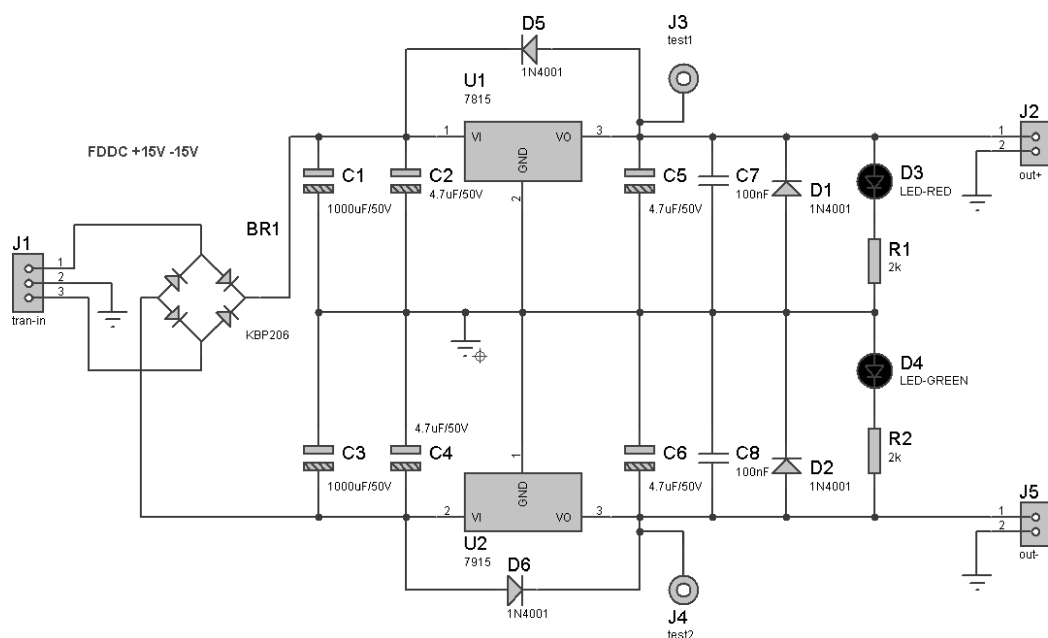


图 3-16 整体电路原理图

对电路板进行实际测试，测试正电压输出为  $14.84\text{V}$ ，负电压输出为  $-14.77\text{V}$ ，设计要求输出双电源  $\pm 15\text{V}$  电压，实测基本符合设计要求。



**PCB 版图**（见图 3-17）

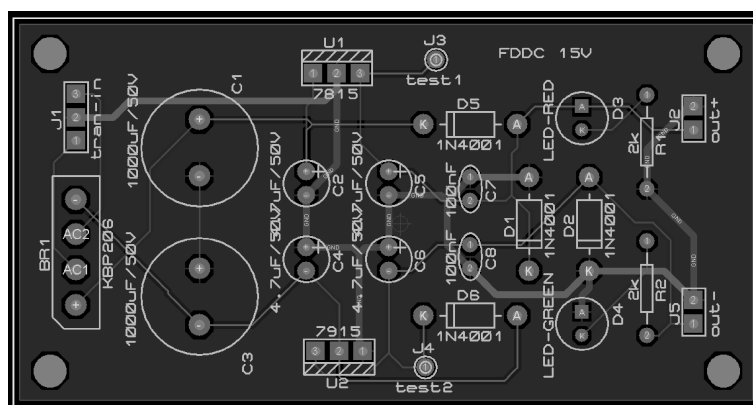


图 3-17 PCB 版图



## 实物测试（见图 3-18、图 3-19）

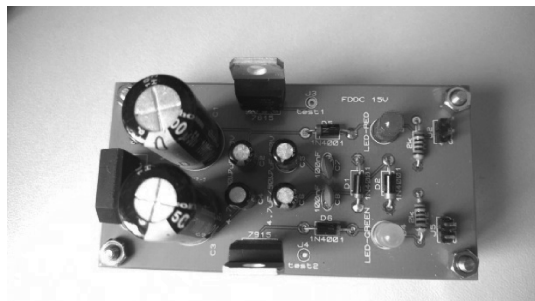


图 3-18 固定式双电源直流稳压电路实物图

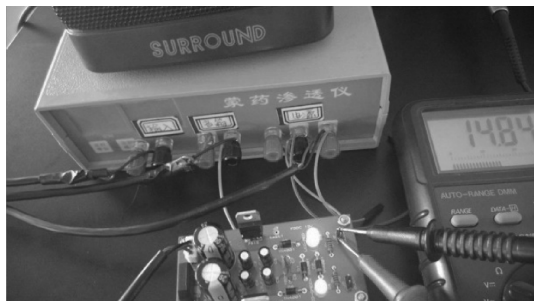


图 3-19 固定式双电源直流稳压电路测试图



## 项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。本项目所介绍的双电源直流稳压电路与传统的稳压电源相比，具有操作方便、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测，控制部分电路简单明了，可提供稳定的  $\pm 15\text{V}$  电压输出，满足设计要求。



## 思考与练习

（1）电源电路中对输入电压有何要求？

答：为了使三端稳压器 7815、7915 能够正常工作，输入电压必须保证为 18V。7815、7915 正常工作时输入输出之间的电压差必须在 3V 以上。为此，使用 7815/7915 时输入电压应在 18V 以上，最大输入电压不超过 35V。

（2）如何验证设计电路是否满足设计要求参数？

答：利用 Proteus 软件对电路进行仿真，用电压探针和图表观察输出电压值，通过改变负载电阻得到最大输出电流并可以观察电流调整率和电压调整率，以此验证电路是否满足设计要求。



## 特别提醒

需在三端稳压器上安装散热器：一般半导体集成电路所能承受的消耗功率能力与器件尺寸大小成正比。当不加散热器时 7815 允许功耗约为 1.5W。若考虑输出短路的情况，功耗会增至 2.1W，为提高三端稳压器的承受能力，长时间供电时需使用散热器。

## 项目4 可调式双电源直流稳压电路设计

本项目所介绍的可调式双电源直流稳压电路是在项目3的基础上，利用稳压器来实现对输出电压的调整。可将交流电源信号转化为直流稳压电源，实现输出可调，具有操作方便、电压稳定度高等特点。除了可输出正直流电压外，还可输出负直流电压，满足了更多电源要求比较高的设备或科研实验。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将市电转化成直流稳压电源，使其输出双电源，并能够在 $\pm(1.25 \sim 26)\text{V}$ 之间可调。



### 基本要求

- ☺ 能够提供稳定的 $\pm(1.25 \sim 26)\text{V}$ 之间可调直流稳压电源。
- ☺ 最大输出电流为 $1\text{A}$ ，电压调整率 $\leq 0.2\%$ ，负载调整率 $\leq 1\%$ ，纹波电压（峰-峰值） $\leq 5\text{mV}$ （最低输入电压下，满载）。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



### 总体思路

许多电子产品如电视机、电子计算机、音响设备等都需要直流电源，电子仪器也需要直流电源，实验室更需要独立的直流电源。为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 $50\text{Hz}$ 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。



### 系统组成

可调式双电源直流稳压电路整个系统主要分以下四个部分。



- ⑤ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足  $\pm(1.25 \sim 26)\text{V}$  电源输出的需要。
  - ⑥ 整流电路：将交流电压变为单方向脉动的直流电压。
  - ⑦ 滤波电路：去掉整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。
  - ⑧ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。
- 系统模块框图如图 4-1 所示。

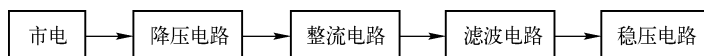


图 4-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。

整流电路原理图如图 4-2 所示。整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 4-3 所示。

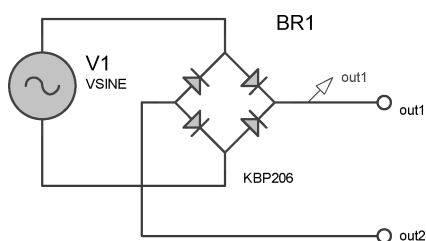


图 4-2 整流电路原理图

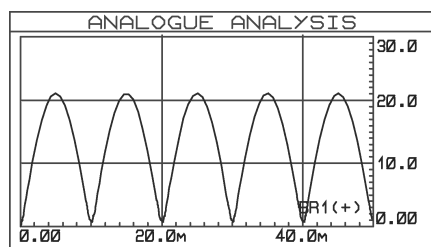


图 4-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 4-4 所示，为了模仿市电经降压后的输入电压，将电压输入设置为 50V，频率设置为 50Hz。

### 2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小，可以满足放电时间常数较大的条件，所以输出电压波形的放电段比较平缓，纹波较小，输出脉动系数  $S$  小，输出平均电压  $U_0$  大，具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联，正半周时电容被充电，负半周时电容放电，就可使负载上得到平滑的直流电。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容  $C_1 = C_3 = 1000\mu\text{F}$ ，用于电源滤波，其后并入电解电容  $C_2 = C_4 = 4.7\mu\text{F}$  用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入

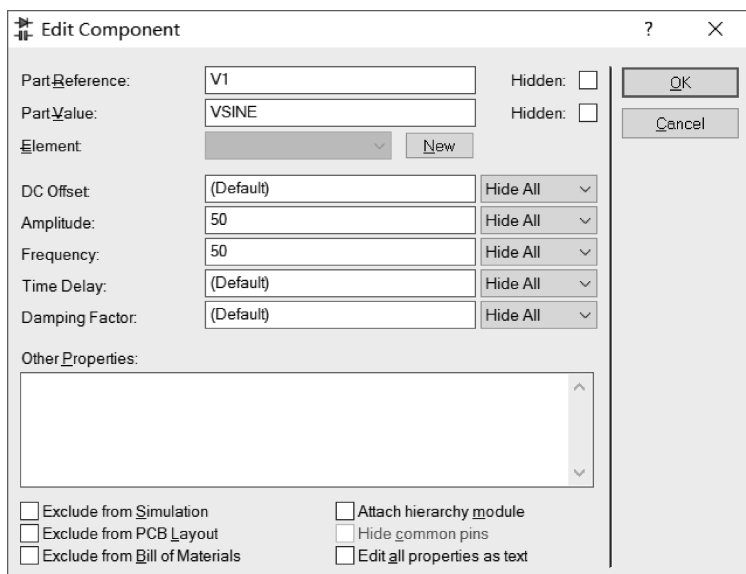


图 4-4 电压信号输入设置

电解电容  $C_5 = C_6 = 4.7\mu\text{F}$  用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容  $C_7 = C_8 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段比较明显，所以不能抑制高频干扰）。滤波电路如图 4-5 所示。

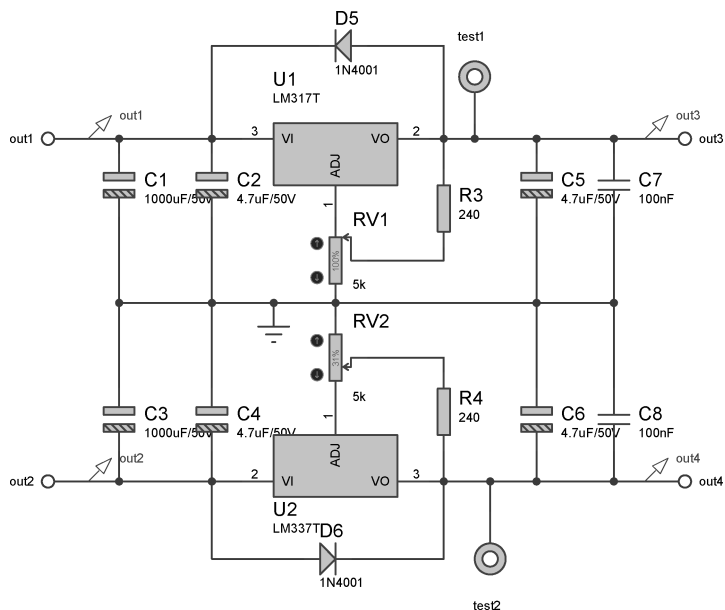


图 4-5 滤波电路

为了验证滤波电路的效果，以前端滤波电路（见图 4-6）为例进行分析。前端滤波电路输出用示波器监视，仿真结果如图 4-7 所示。

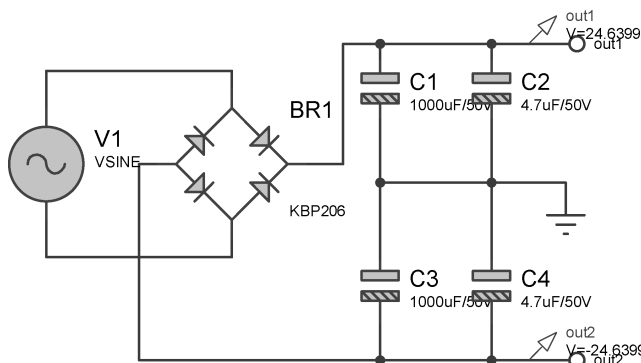


图 4-6 前端滤波电路

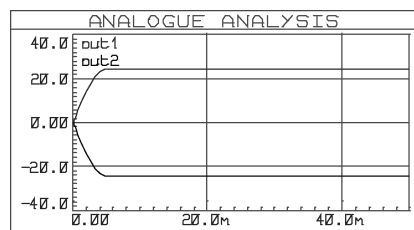


图 4-7 前端滤波电路输出仿真图

若将  $C_1$  电容值调整为  $100\mu\text{F}$ ，如图 4-8 所示，则会导致电路输出端 out1 与 out2 输出电压大小不等。滤波电路输出端 out1 与 out2 处加入探针，用图表显示其输出结果，如图 4-9 所示。

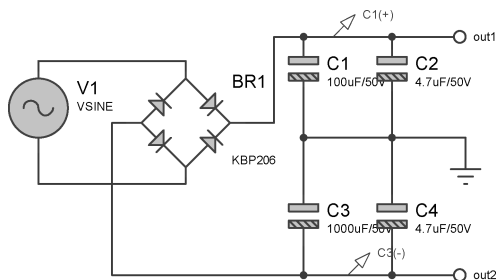


图 4-8 调节  $C_1$  后的滤波电路

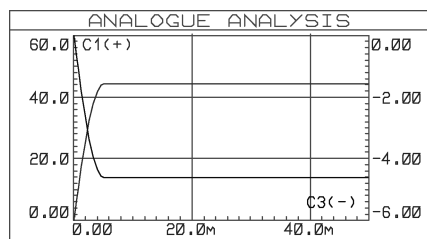


图 4-9 调节  $C_1$  后滤波电路输出仿真

与固定式双电源直流稳压电路类似，本项目滤波电路中电容大小除影响电路的滤波效果外，还影响到电桥的整流输出。若上下电路不对称，则不会输出大小相等的直流电压有效值，即不会输出大小相等的直流正负电压。

### 3. 稳压电路

使用三端稳压器有以下优点。

- (1) 元件数量少。
- (2) 带有限流电路，输出短路时不会损坏元件。
- (3) 带有热击穿功能。

三端稳压器选择 LM317（输出电流为  $1.5\text{A}$ ，输出电压可在  $1.25 \sim 37\text{V}$  之间连续调节），其输出电压由两只外接电阻  $R_{V1}$ 、 $R_{V2}$  决定，输出端和调整端之间的电压差为  $1.25\text{V}$ 。在输出端同时并入二极管  $D_5$ 、 $D_6$ （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。

利用  $R_{V1}$ 、 $R_{V2}$  控制输出电压大小，调节  $R_{V1}$ ，使其处于位置 1（9%），此时电路输出端 out3 输出  $+4.28\text{V}$  直流电压，输出端 out4 输出  $-11.35\text{V}$ 。电路仿真结果如图 4-10 所示。

用示波器监视正电压输出端 out3 与 out4，结果如图 4-11 所示。

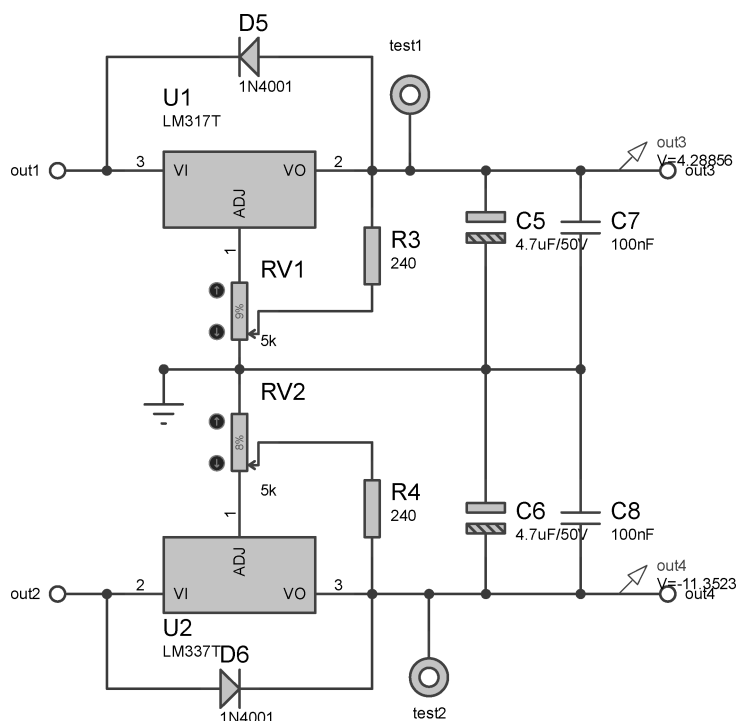


图 4-10  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路空载仿真图

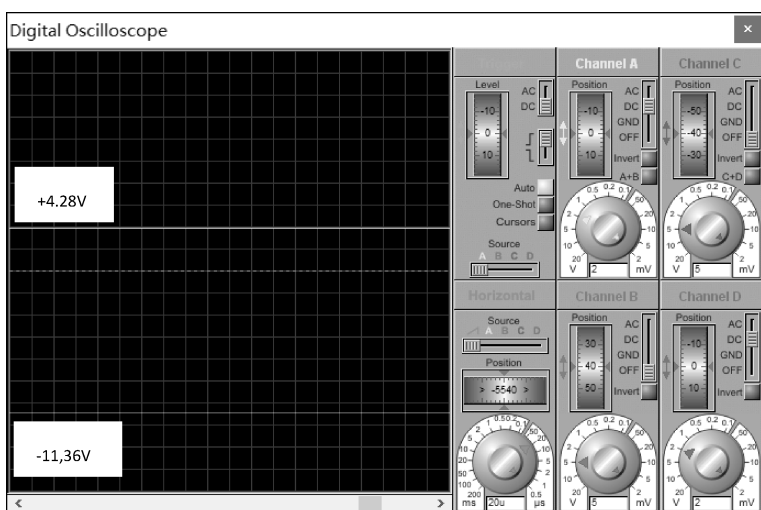


图 4-11  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路空载输出

如图 4-10 所示，该稳压电路输出稳定正负电压。三端稳压器最易损坏的是输出脚（图 4-10 中 2 脚）电压高于输入脚（图 4-10 中 3 脚）而形成击穿，因此一般像图 4-10 中那样并联一个二极管 1N4001，它的主要作用是：如果输入端  $C_1$  或  $C_2$  出现短路，则输出 2 脚会高于输入 3 脚，很容易击穿稳压器，所以反向并联一个二极管，对 1 脚电压进行泄放，使 2 脚到 3 脚电压限幅为 0.7V，可有效保护稳压器不被反向击穿。

加入  $2\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载测试, 如图 4-12 所示, 用示波器监视正电压输出端 out3 与 out4, 结果如图 4-13 所示。

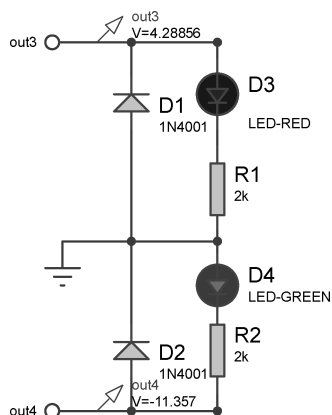


图 4-12  $R_{V1}$  处于位置 1 时的输出测试

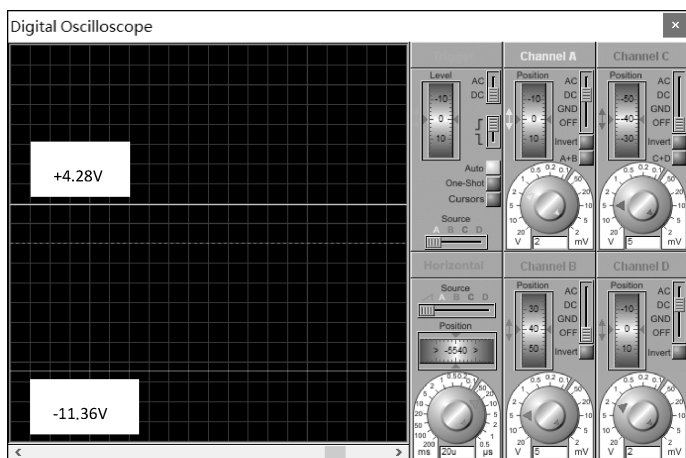


图 4-13  $R_{V1}$  处于位置 1 时稳压电路输出

可见, 在正电源端通过调节  $R_{V1}$ , 可使其 out3 输出如图 4-13 所示的  $+4.28\text{V}$  电压, 此时电压不足以驱动 LED 发光; 而负电源端通过调节  $R_{V2}$ , 可使其 out4 输出  $-11.36\text{V}$  电压, 该电压可使绿色 LED 发光。随后, 调节  $R_{V1}$  到达位置 2 (35%), 使其阻值增大, 则其对应电源输出电压也会增大。此时输出电压为  $+9.32\text{V}$ , 负载红色 LED 点亮。仿真结果如图 4-14 所示。

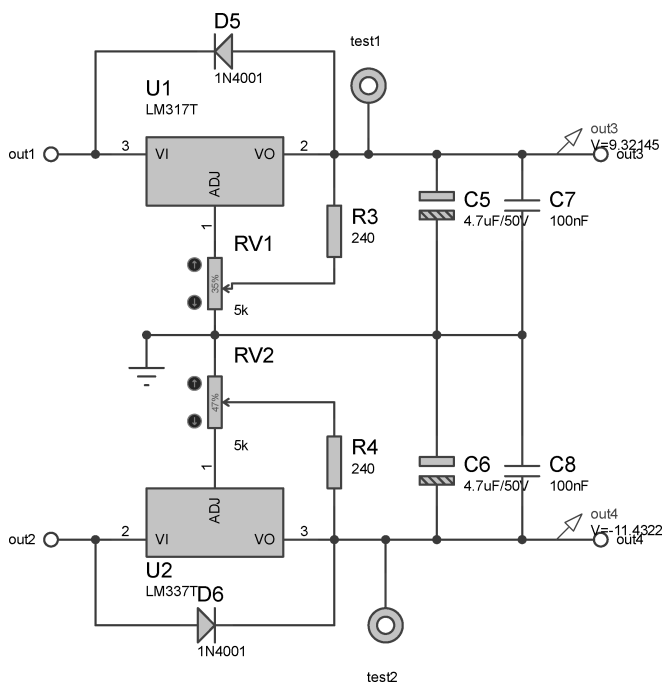


图 4-14  $R_{V1}$  处于位置 2 时空载输出仿真图

用示波器监视正电压输出端 out3 与 out4，结果如图 4-15 所示。

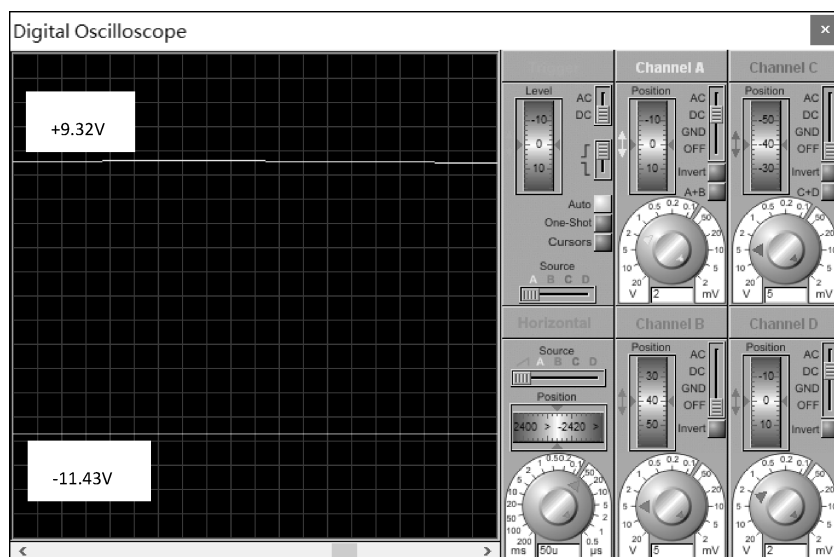


图 4-15  $R_{V1}$  处于位置 2 时空载输出

在两个稳压器输出端 out3、out4 处接入  $2k\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 4-16 所示，输出仿真结果如图 4-17 所示。

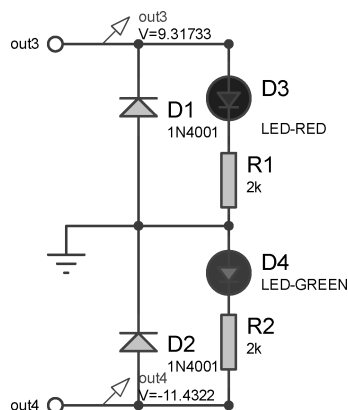


图 4-16  $R_{V1}$  处于位置 2 时的 LED 测试（一）

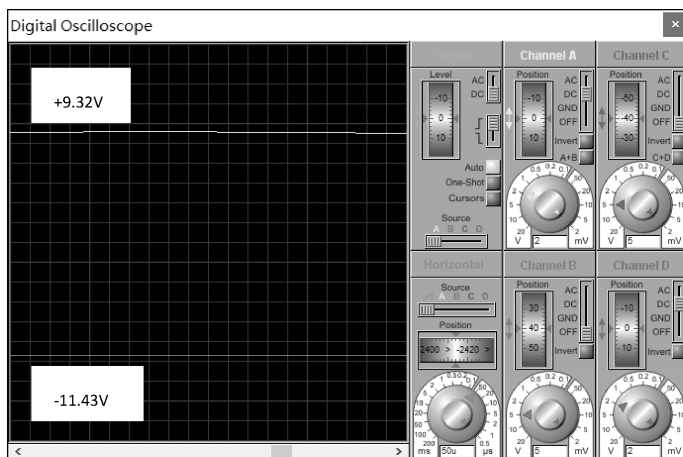


图 4-17 稳压电路负载输出显示（一）

可见，在正电源端通过调节  $R_{V1}$ ，可使其输出如图 4-17 所示的 +9.32V 电压，此时电压足以驱动红色 LED 发光，因而红色 LED 被点亮，实现了输出电压可调。

若在两个稳压器输出端 out3、out4 处接入  $10k\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 4-18 所示，输出仿真结果如图 4-19 所示。

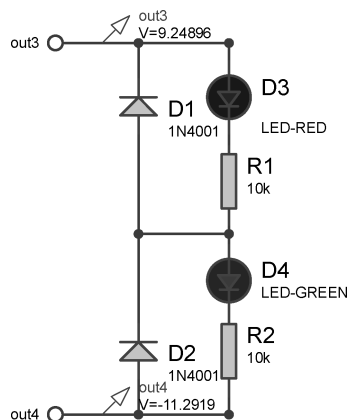


图 4-18  $R_{V1}$  处于位置 2 时的 LED 测试 (二)

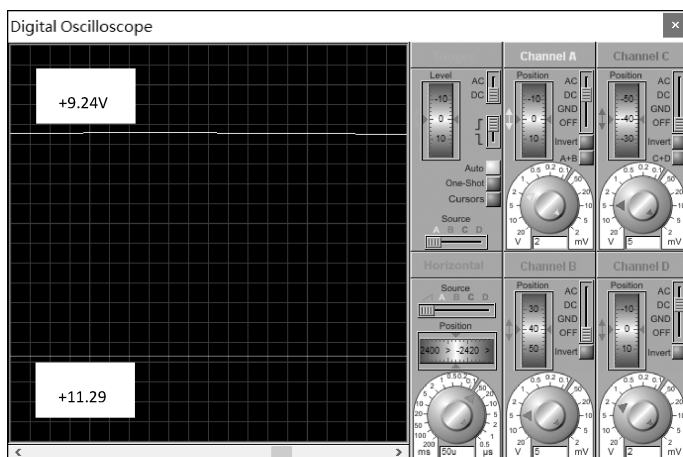


图 4-19 稳压电路负载输出显示 (二)

可见，当加载稳压电路输出两端的负载发生改变时，电路输出电压不随负载变化而变化，故满足稳压设计指标。

可调式双电源直流稳压电路的整体电路原理图如图 4-20 所示。

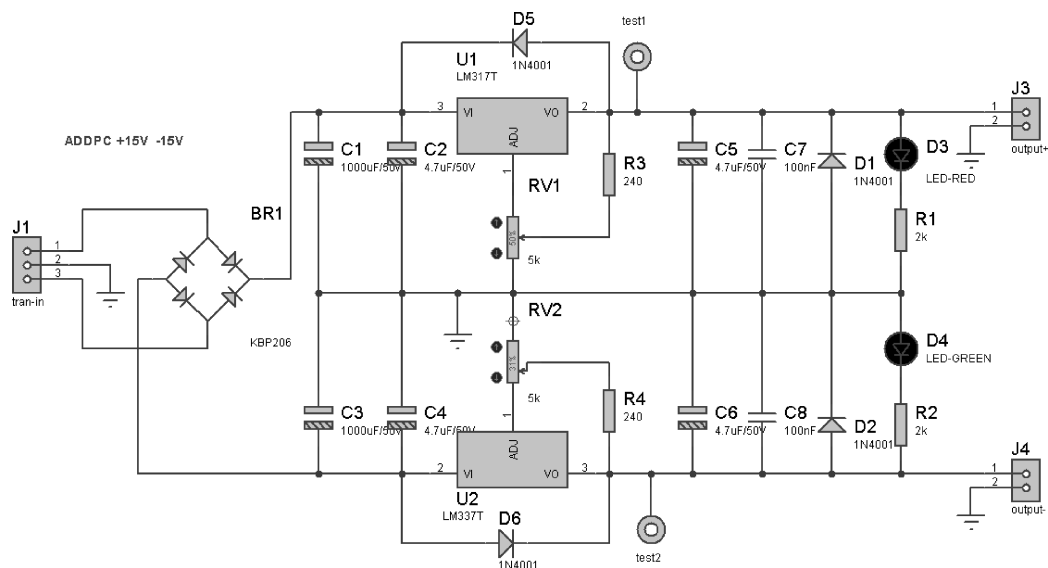


图 4-20 整体电路原理图

经过对电路板进行实际测试，输出在 1.48 ~ 14.84V 之间可调，基本符合设计要求。



## PCB 版图（见图 4-21）

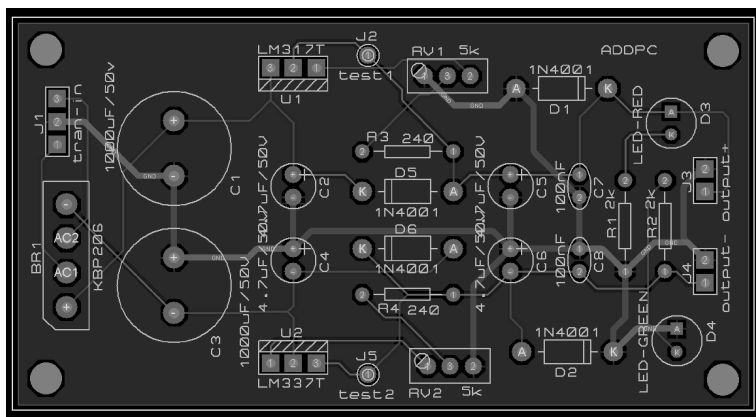


图 4-21 PCB 版图



## 实物测试（见图 4-22、图 4-23）

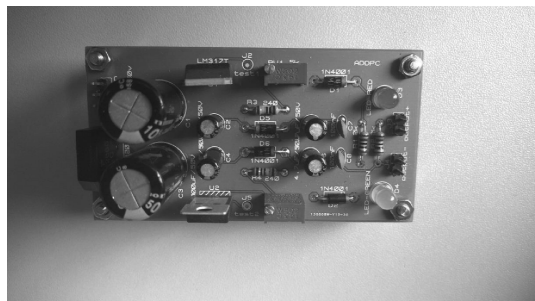


图 4-22 可调式双电源直流稳压电路实物图

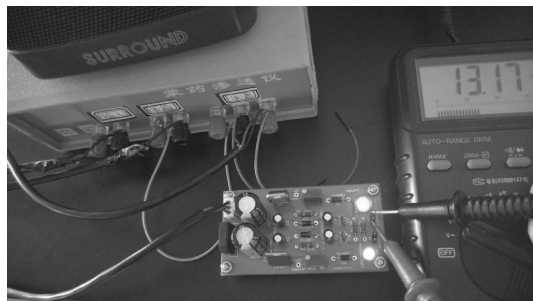


图 4-23 可调式双电源直流稳压电路测试图



## 项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。本项目所介绍的稳流电路与传统的稳流电



源相比，具有操作方便、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测，控制部分电路简单明了，满足设计指标。



## 思考与练习

在设计可调直流稳压电路时，使用 LM317 有何优势？

答：LM317 是应用最为广泛的电源集成电路之一，它不仅具有固定式三端稳压电路的最简单形式，又具备输出电压可调的特点。此外，还具有调压范围宽、稳压性能好、噪声低、纹波抑制比高等优点。LM317 是可调式三端正电压稳压器，在输出电压范围为  $1.2 \sim 37\text{V}$  时能够提供超过  $1.5\text{A}$  的电流，此稳压器非常易于使用。



## 特别提醒

有时需在三端稳压器上安装散热器：一般半导体集成电路所能承受的消耗功率能力与器件尺寸大小成正比。不加散热器时 7815 允许功耗约为  $1.5\text{W}$ 。若考虑输出短路的情况，功耗会增至  $2.1\text{W}$ ，为提高三端稳压器的承受能力，供电时间长时需使用散热器。

## 项目 5 固定式稳流电源电路设计

稳流电源是一种宽频谱、高精度的常用电源，具有响应速度快、恒流精度高、能长期稳定工作，适合各种性质负载（阻性、感性、容性）等优点。稳流电源一般用于检测热继电器、塑壳断路器、小型短路器及需要设定额定电流、动作电流、短路保护电流等生产场合。常用的简易稳流电源通常利用一个电压基准，在电阻上形成固定电流。本项目用数控技术实现了一个简单的固定式稳流电源电路，且输出值不随负载变化而变化。



### 设计任务

设计一个简单的稳流电源电路，使其输出 1A 左右的恒定电流。



### 基本要求

不因负载（输出电压）变化而改变。



### 总体思路

本项目中恒流源的搭建可以扩展到所有可以提供“电压基准”的器件上。本项目中的电压基准由 TL431 产生。其设计思路主要是令电路产生一个基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用，根据变压器输出端之间的关系，保持输出电流的恒定。



### 系统组成

固定式稳流电源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ⑤ 基准电压输出电路：产生恒流源需要利用一个电压基准，在电阻上形成固定电流，这里利用 TL431 产生基准电压。
- ⑤ 恒流源产生电路：利用电压跟随器，产生恒定输出电压，稳定电压除以固定电阻产生恒定电流。

系统模块框图如图 5-1 所示。

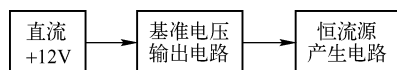


图 5-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 基准电压输出电路

基准电压  $V_{REF}$  (2.5V) 由 TL431 产生，所以当在 REF 端引入输出反馈时，器件可以通过从阴极到阳极很宽范围的分流，控制输出电压。这个基准电压由  $R_3$  和  $R_6$  分压后输出设置 out1 点电位，来调节恒流源所需输出电流。

基准电压输出电路仿真图如图 5-2 所示。基准电压输出端 out1 用示波器监视，仿真结果如图 5-3 所示。

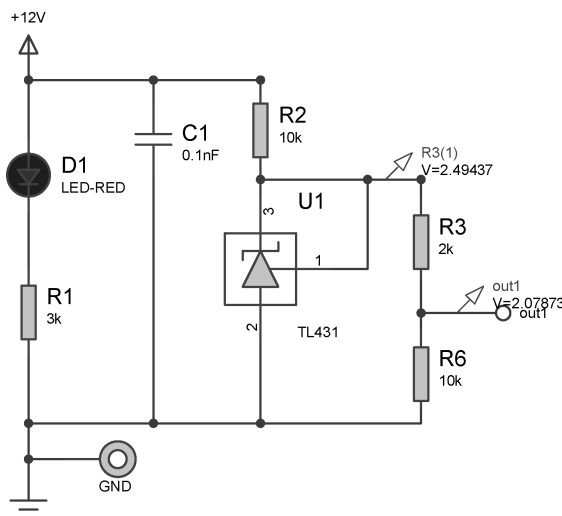


图 5-2 基准电压输出电路仿真图

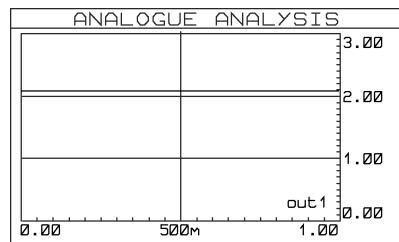


图 5-3 基准电压输出仿真图

如图 5-2 所示，可以在基准电压输出电路输出端 out1 处得到稳定的直流基准电压，大小为 2.07V。

### 2. 恒流源产生电路

基准电压输出电路的输出端 out1 处输出稳定的 2.07V 基准电压至运算放大器的输入端。根据虚短关系， $LM_{in+}$  端的电压与 FB 端电压相等，电压值为 2.07V。则当场效应管导通时，电流  $I_{out}$  可以根据式 (5-1) 计算。

$$I_{out} = V_{REF} / R_4 \quad (5-1)$$

则输出电流可计算，大小为 1.04A。

恒流源产生电路空载仿真图如图 5-4 所示。

电路中场效应管选择 IRF840，IRF840 属于第三代 Power MOSFETs，特点是噪声低、输入阻抗高、开关时间短。典型应用为：电子镇流器、电子变压器、开关电源等。

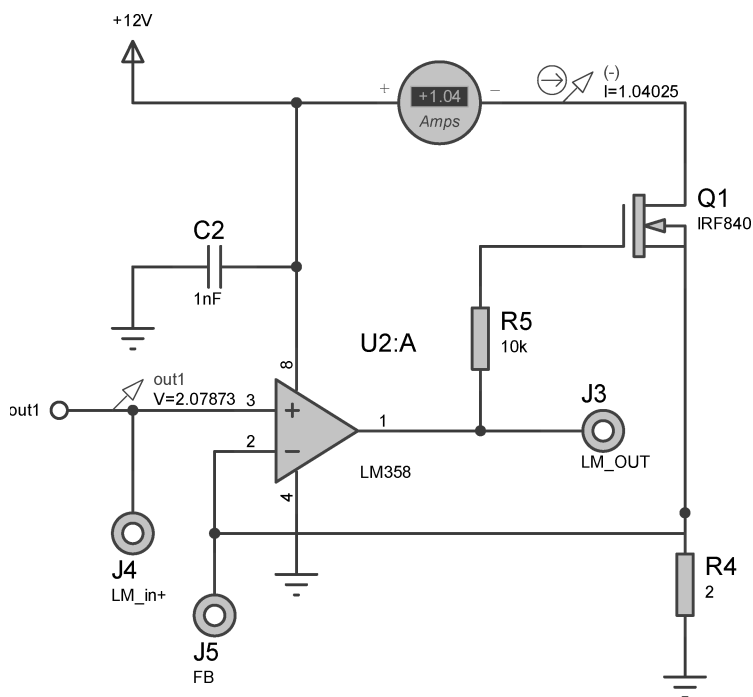


图 5-4 恒流源产生电路空载仿真图

IRF840 是绝缘栅场效应管中的 N 沟道增强型。绝缘栅场效应管是利用半导体表面的电场效应进行工作的，由于它的栅极处于不导电（绝缘）状态，所以输入电阻大大提高，这为恒流源的输出精度打下了良好的基础。N 沟道增强型的工作条件是：只有当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。恒流源产生电路空载输出波形如图 5-5 所示。

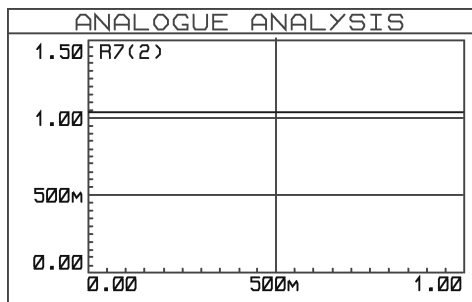


图 5-5 恒流源产生电路空载输出波形

在电路输出端加入  $1\Omega$  负载进行测试，可以看到稳流电源的输出并不会因为加入负载而改变，其仿真图如图 5-6 所示。加入负载后，固定式稳流电源输出波形如图 5-7 所示。

在电路加入  $1\Omega$  负载时，测试负载电流输出为  $1.04\text{A}$ ，与空载相同。之后，调整负载大小，将负载调整为  $9\Omega$  电阻，其仿真结果如图 5-8 所示。

如图 5-9 所示为监视输出流仿真图，图中可见稳流电源电路输出值一直稳定在  $1.04\text{A}$ ，即电源此时具有较好的稳定性。

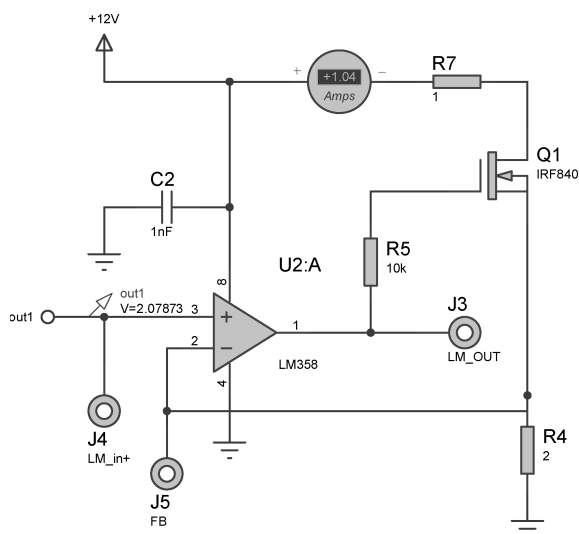


图 5-6 恒流源产生电路加负载仿真图（一）

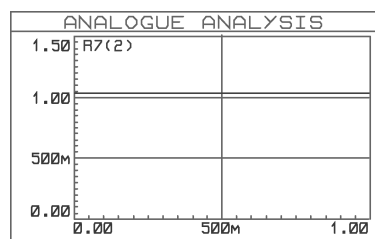


图 5-7 恒流源产生电路  
加负载输出（一）

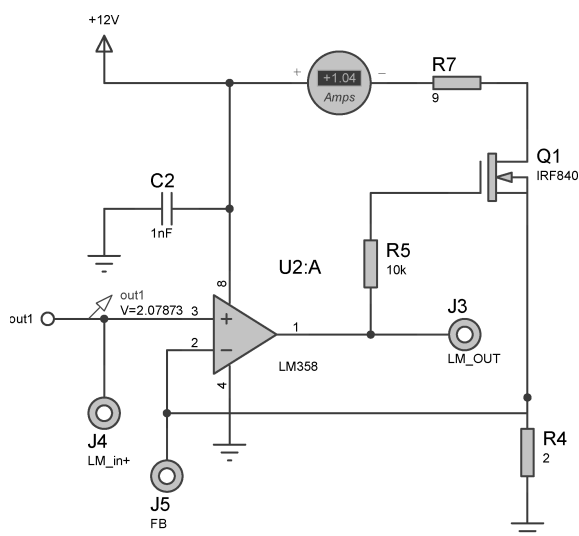


图 5-8 恒流源产生电路加负载仿真图（二）

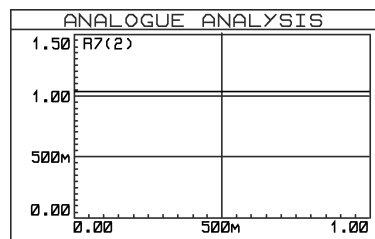


图 5-9 恒流源产生电路  
加负载输出（二）



### 注意

设计中，场效应管的导通条件为栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。所以当负载过大时，由于流过的电流为恒流，会导致栅极电压与漏极电位逐渐相等，最终导致场效应管截止。此时则不会输出稳定恒流。

固定式稳流电源电路的整体电路原理图如图 5-10 所示。

对电路板进行实际测试，测试电流输出为 0.94A，设计要求输出电流 1A，基本符合设计要求。

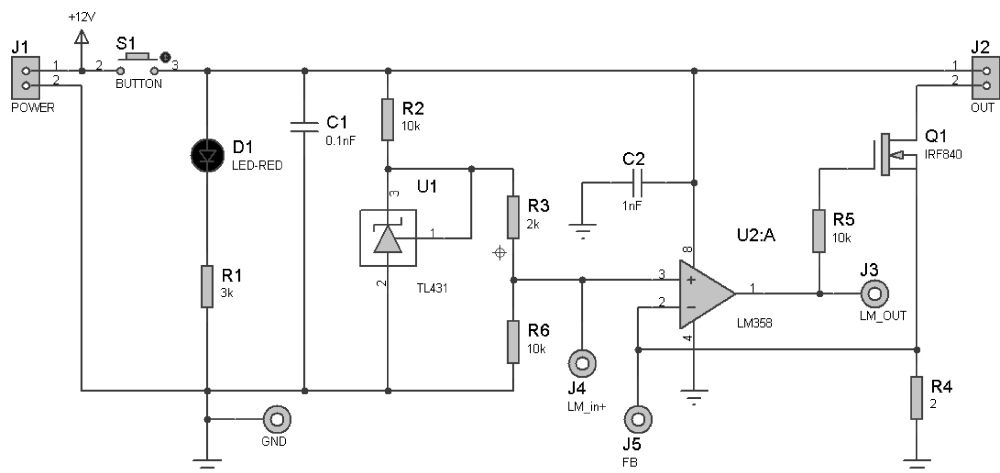


图 5-10 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 5-11)

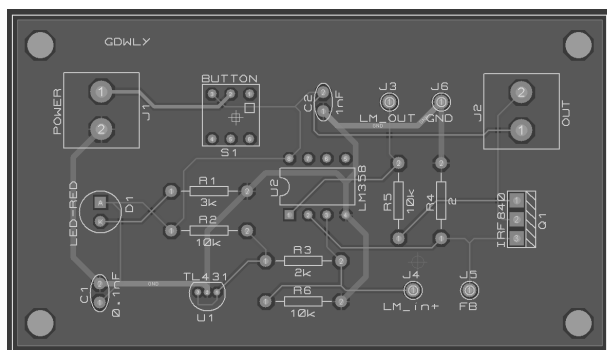


图 5-11 PCB 版图



实物测试 (见图 5-12、图 5-13)

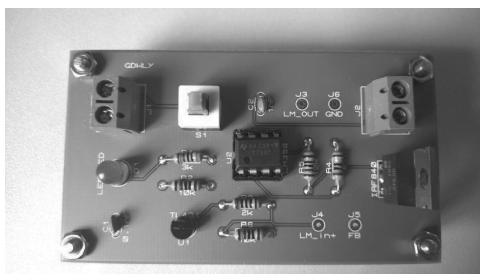


图 5-12 固定式稳流电源电路实物图

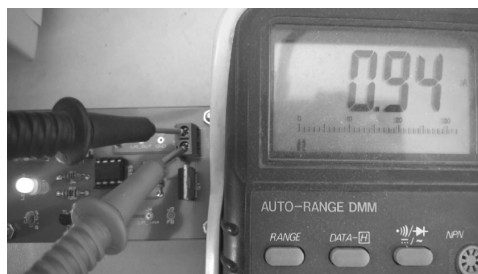


图 5-13 固定式稳流电源电路测试图



## 项目总结

本项目任务是设计一个简单的稳流电源电路，使其输出 1A 左右的恒定电流。恒流源是一种宽频谱、高精度交流稳流电源，具有响应速度快、恒流精度高、能长期稳定工作，适合各种性质负载（阻性、感性、容性）等优点。一般用于检测热继电器、塑壳断路器、小型短路器及需要设定额定电流、动作电流、短路保护电流等生产场合。设计电路首先产生一个基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用，根据变压器输出端之间的关系，保持输出电流的恒定。在仿真成功的基础上，对电路板进行实际测试，测试电流输出为 1.04A，设计要求输出电流 1A，实测基本符合设计要求。



## 思考与练习

(1) 在设计固定式稳流电源电路时，为何选择场效应管而不选择三极管？

**答：**最常用的简易恒流源用两只同型三极管，利用三极管相对稳定的 b-e 电压作为基准。为了能够精确输出电流，通常使用一个运放作为反馈，同时使用场效应管避免三极管的 b-e 电流导致的误差。如果电流不需要特别精确，其中的场效应管也可以用三极管代替。场效应管栅极不取电流，这样有助于提高恒流源的精度，用场效应管和大功率三极管复合，即运放输出接场效应管栅极，场效应管漏极接三极管基极，是比较常用的方法。

(2) 如何对稳流电源电路进行稳流的验证？

**答：**在输出端串联变化的负载，可以用电位器来实现。观察当负载变化时，负载两端电压是否跟随负载线性变化。

(3) 在固定式稳流电源电路中对于输入级器件以及输出级器件有什么要求？

**答：**因为输入级需要恒压源，所以可以采用具有电压饱和伏安特性的器件作为输入级。一般的 PN 结二极管就具有这种特性——指数式上升的伏安特性；另外，把增强型 MOSFET 的源-漏极短接所构成的二极管，也具有类似的伏安特性——抛物线式上升的伏安特性。而对于输出级器件，如果采用 BJT，为了使其输出电阻增大，就需要设法减小 Early 效应（基区宽度调制效应），即尽量提高 Early 电压；如果采用 MOSFET，为了使其输出电阻增大，就需要设法减小其沟道长度影响下调制效应和衬偏效应。因此，这里一般是选用长沟道 MOSFET，而不用短沟道器件。

## 项目 6 可调式稳流电源电路设计

在工程应用中，仅使用固定式稳流电路是远远不能满足其需求的。本次可调式稳流电路是在之前固定式稳流电路的基础上进行改进的，在保留了其精确、易实现、成本低等优势的前提下实现了输出稳定电流值的可调功能，有较大的实用意义与学习价值。



### 设计任务

设计一个简单的稳流电源电路，使其输出在  $0.8 \sim 48\text{mA}$  之间可调。



### 基本要求

不因负载（输出电压）变化而改变。



### 总体思路

本项目中可调式稳流电源的搭建同样以提供“电压基准”的器件为核心。本项目中的电压基准由 TL431 产生。其设计思路主要是令电路产生一个基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用，根据变压器输出端之间的关系，保持输出电流的恒定不变。此外，可通过电位器来调节基准电压值的大小，从而实现稳流电源的可调功能。



### 系统组成

可调式稳流电源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ⑤ 基准电压输出电路：产生恒流源需要利用一个电压基准，在电阻上形成一定电流，这里利用 TL431 产生基准电压。
- ⑤ 恒流源产生电路：利用电压跟随器，产生恒定输出电压，稳定电压除以电位器阻值产生可调电流。



系统模块框图如图 6-1 所示。

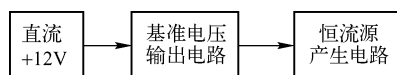


图 6-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 基准电压输出电路

基准电压  $V_{REF}$  (2.5V) 由 TL431 产生，所以当在 REF 端引入输出反馈时，器件可以通过从阴极到阳极很宽范围的分流，控制输出电压。这个基准电压由  $R_3$  和  $R_{V1}$  分压后输出设置 out1 点电位，来调节恒流源所需输出电流。

选取  $R_{V1}$  阻值为 2k $\Omega$  并调整至 50% 处，基准电压输出电路仿真图如图 6-2 所示。

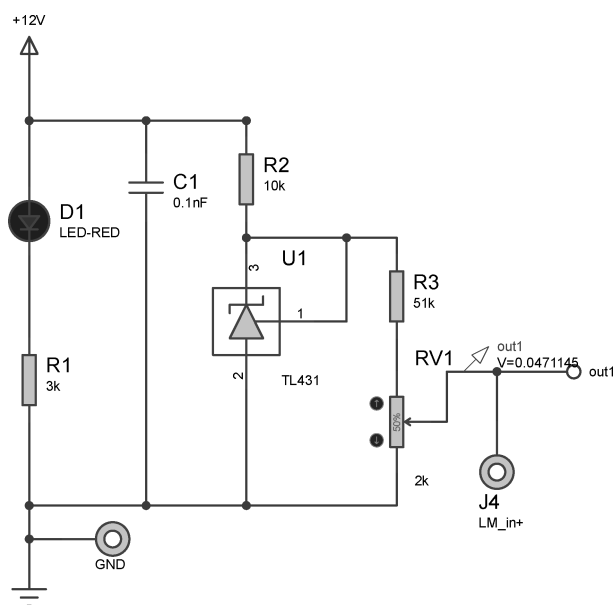


图 6-2  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出电路仿真图

基准电压输出端 out1 用图表显示，仿真结果如图 6-3 所示。

如图 6-2 所示， $R_{V1}$  处于位置 1 时，可以在基准电压输出电路输出端 out1 处得到稳定的直流基准电压，大小为 47.1mV。该输出信号由 TL431 输出的 2.5V 经  $R_3$  与  $R_{V1}$  分压后得到。

### 2. 恒流源产生电路

基准电压输出电路的输出端 out1 处输出稳定的 0.047V 基准电压至运算放大器的输入端。根据虚短关系，LM\_in+ 端的电压与 FB 端电压相等，电压值为 47.1mV。则当场效应

管导通时，电流  $I_{out}$  可以根据式（6-1）计算。

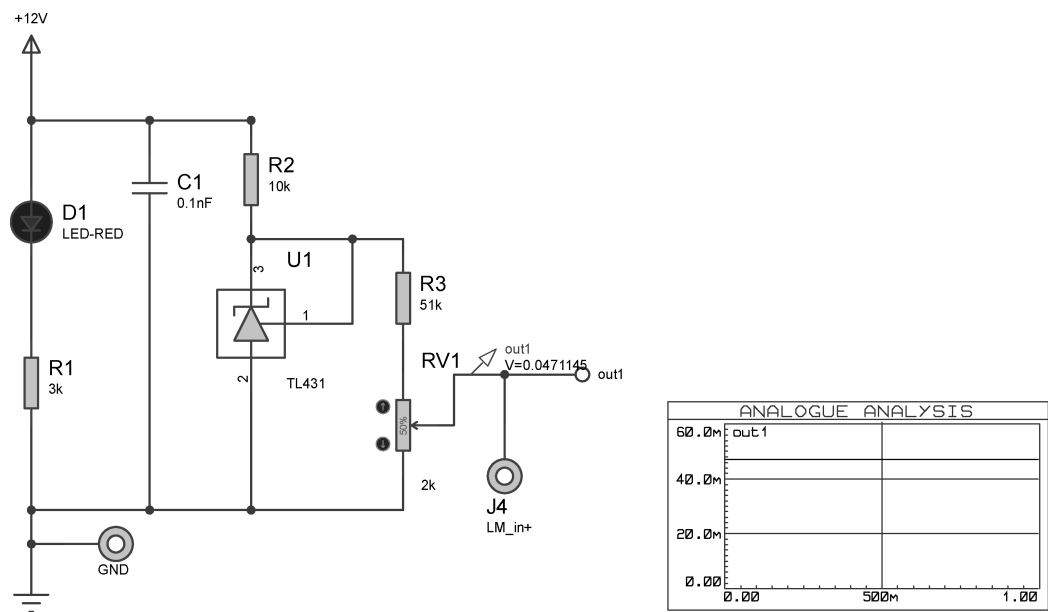


图 6-3  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出波形

$$I_{out} = V_{REF}/R_4 \tag{6-1}$$

则输出电流可计算，大小为 24.4mA。

恒流源产生电路空载仿真图如图 6-4 所示。

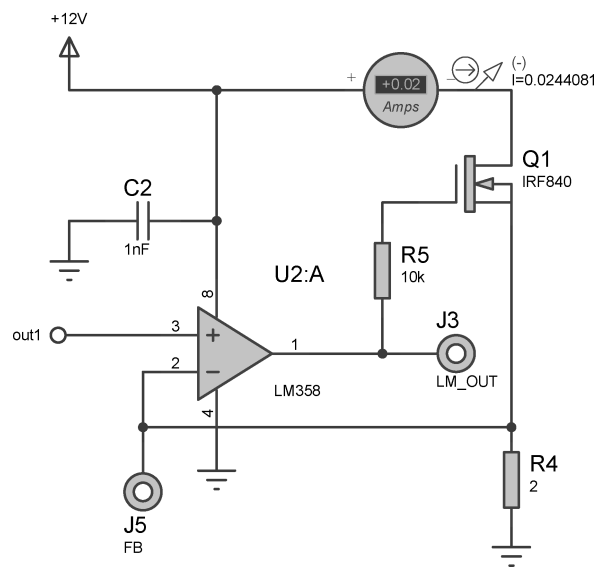


图 6-4  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载仿真图

电路中场效应管选择 IRF840，特点是噪声低、输入阻抗高、开关时间短。典型应用为：电子镇流器、电子变压器、开关电源等。

IRF840 是绝缘栅场效应管中的 N 沟道增强型。绝缘栅场效应管是利用半导体表面的电场效应进行工作的，由于它的栅极处于不导电（绝缘）状态，所以输入电阻大大提高，这为恒流源的输出精度打下了良好的基础。N 沟道增强型的工作条件是：只有当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。电路空载输出波形如图 6-5 所示。

如图 6-5 所示，当  $R_{V1}$  处于位置 1（50%）时，电路空载输出大小为 24.4mA 的直流电源。将基准电压输出电路中  $R_{V1}$  调整到位置 2（90%），改变了  $R_3$  与  $R_{V1}$  的分压比例，此时 out1 当前输出达到 84.8mV 直流电压，如图 6-6 所示。

$R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形如图 6-7 所示。

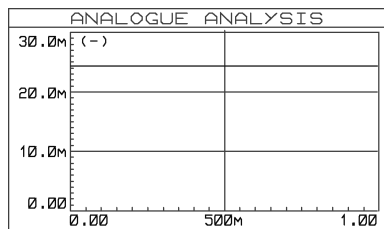


图 6-5  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载输出波形

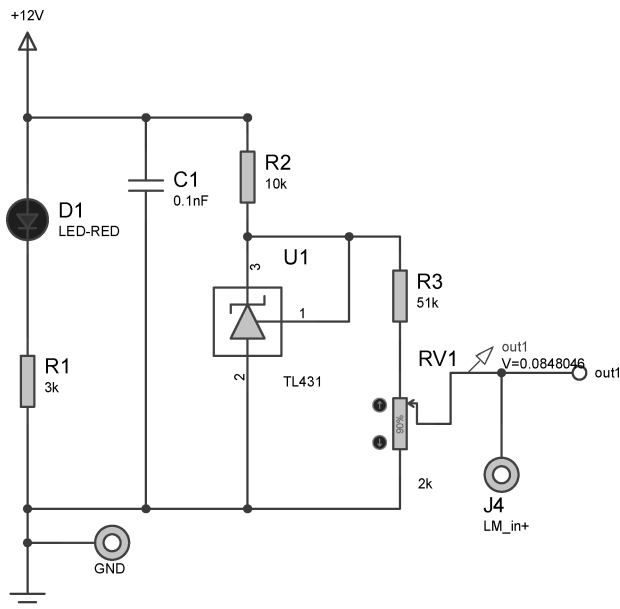


图 6-6  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载仿真图

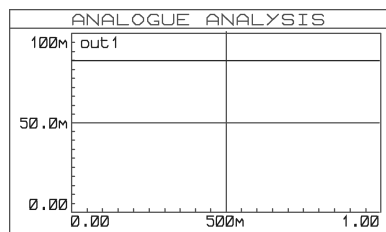


图 6-7  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形

在  $R_{V1}$  处于位置 2（90%）时，场效应管同样导通，电流  $I_{out}$  可以根据式（6-1）计算，其大小为 43.2mA，电路仿真如图 6-8 所示。 $R_{V1}$  处于位置 2 恒流空载输出波形如图 6-9 所示。

恒流源空载输出电路原理图如图 6-8 所示，图中为电源电路空载仿真，当前电流输出值为 43.2mA。在恒流输出端加入 50Ω 负载，测试电路加入负载是否能正常工作。从图 6-10 的仿真结果可以看到稳流电源的输出并不会因为加入负载而改变。

加入 50Ω 负载后，恒流源产生电路加负载输出波形如图 6-11 所示。

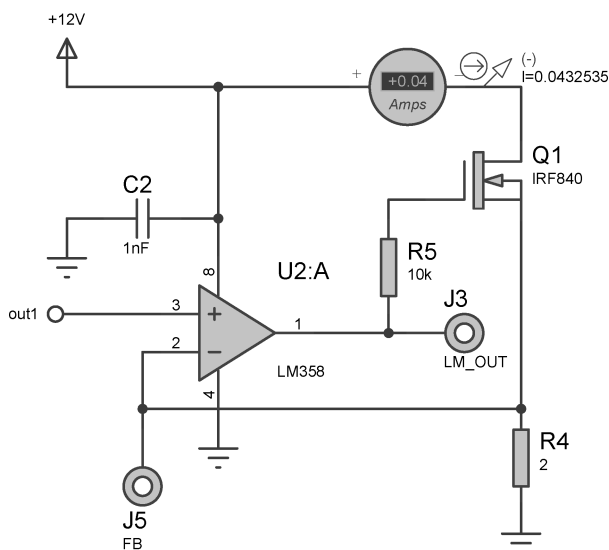


图 6-8  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载仿真图

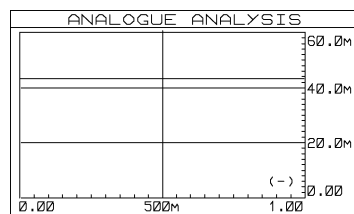


图 6-9  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形

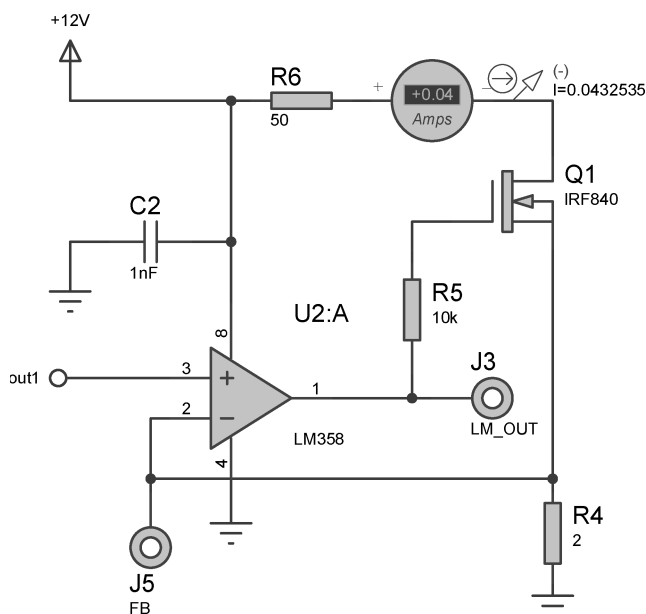


图 6-10 恒流源产生电路加负载仿真图 (一)

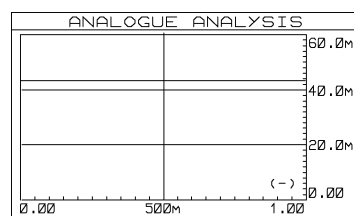


图 6-11 恒流源产生电路加负载输出波形 (一)

如图 6-11 所示，在电路加入 50Ω 负载时，测试负载电流输出为 43.2mA，与空载时电路输出相同。再次调整负载大小，将负载调整为 200Ω 电阻，仿真结果如图 6-12 所示。

用图表显示当前恒流输出波形，如图 6-13 所示。

如图 6-13 所示为监视输出波形图，可见稳流电源电路输出值一直稳定在 43.2mA，即电源此时具有较好的稳定性。

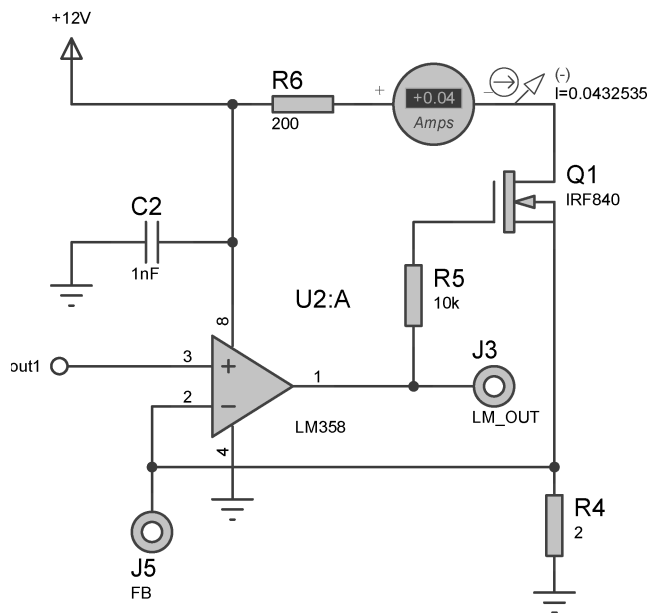


图 6-12 恒流源产生电路加负载仿真图（二）

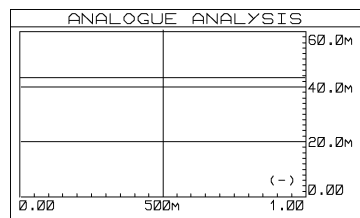


图 6-13 恒流源产生电路  
加负载输出波形（二）



注意

同之前固定式稳流电源的设计类似，场效应管的导通条件为当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。所以当负载过大时，由于流过的电流为恒流，会导致栅极电压与漏级电位逐渐相等，最终导致场效应管截止。此时则不会输出稳定恒流。

可调式稳流电源电路的整体电路原理图如图 6-14 所示。

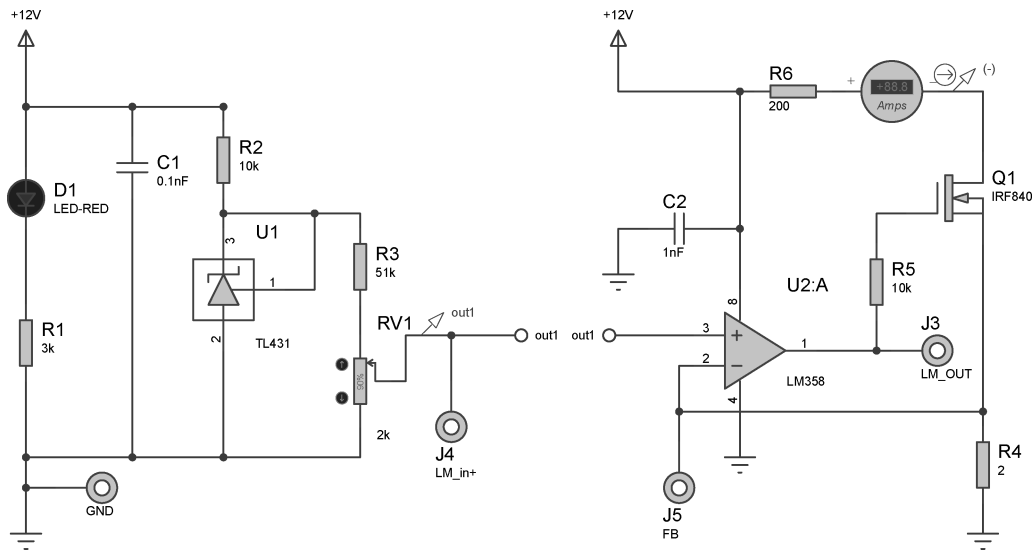


图 6-14 整体电路原理图

对电路板进行实际测试，调节电位器，测试电流输出为  $0.79 \sim 49.3\text{mA}$ ，设计要求输出电流  $0.8 \sim 48\text{mA}$ ，实测基本符合设计要求。



**PCB 版图**（见图 6-15）

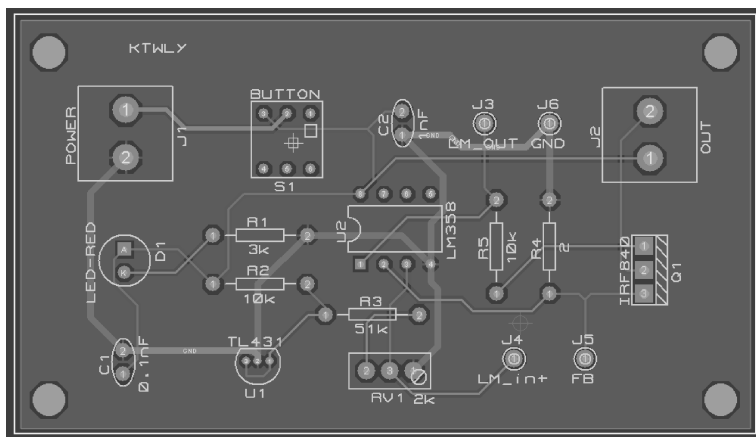


图 6-15 PCB 版图



**实物测试**（见图 6-16、图 6-17）

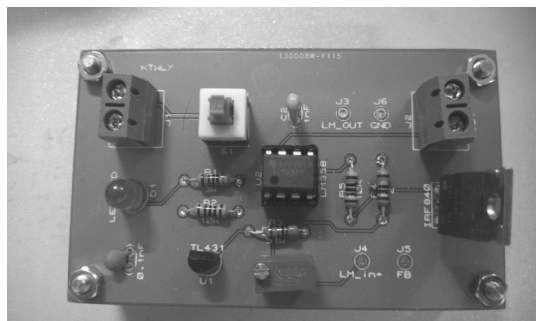


图 6-16 可调式稳流电源电路实物图

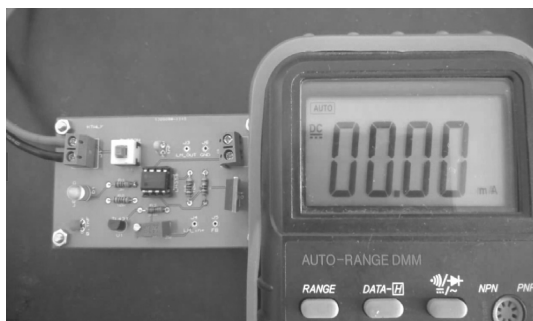


图 6-17 可调式稳流电源电路测试图



## 项目总结

本项目任务是设计一个可调式稳流电源电路。利用 TL431 与电位器产生了一个可调的基准电压，在固定式稳流电源的基础上实现了输出恒流可调。在仿真成功的基础上，对电路板进行实际测试，调节电位器，测试电流输出为  $0.79 \sim 49.3\text{mA}$ ，设计要求

输出电流  $0.8 \sim 48\text{mA}$ ，实测基本符合设计要求。



## 思考与练习

(1) 在设计可调式稳流电源电路时，为何选择场效应管而不选择三极管？

**答：**为了能够精确输出电流，通常使用场效应管来避免使用三极管时  $b-e$  级电流导致的输出电流误差。场效应管栅极不取电流，这样有助于提高恒流源的精度。

(2) 如何对稳流电源电路进行稳流的验证？

**答：**为了对稳流电源进行验证，可在电路输出端串联阻值不同的电阻作为负载。观察当负载变化时，负载上通过电流是否不变。若电流值保持不变，则说明该电流源为稳流电源。

## 项目7 固定式倍压器直流稳压电源电路设计

一些需用高电压、小电流的地方，常常使用倍压整流电路。倍压整流，可以把较低的交流电压，用耐压较高的整流二极管和电容器，“整”出一个较高的直流电压。倍压整流电路一般按输出电压是输入电压的多少倍，分为二倍压、三倍压与多倍压整流电路。本项目首先通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将直流电压 +12V 经过二倍倍压器，输出稳定直流电压 +24V。



### 基本要求

- ☺ 能够输出稳定的 +24V 直流稳压电源。
- ☺ 使输出电压为输入的二倍。



### 总体思路

首先通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路。



### 系统组成

固定式倍压器直流稳压电源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☺ 多谐振荡电路：利用 NE555 定时器连接成一个多谐振荡器。振荡频率为 2kHz。



☺ 倍压整流电路：将较低的电压通过电容的储能作用输出一个较高的电压。  
系统模块框图如图 7-1 所示。

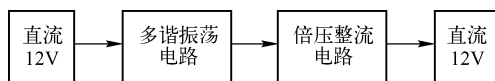


图 7-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 多谐振荡电路

为了起到倍压效果，需要通过多谐振荡电路令输入的直流电压转换为交流输出。本项目中使用的核心器件是 NE555 定时器。

由 NE555 定时器组成的多谐振荡电路如图 7-2 所示。其中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_1$  为外接元件。根据 NE555 定时器的工作原理可知，电容  $C_1$  充电时，定时器输出高电平；电容  $C_1$  放电时，定时器输出低电平。电容不断地进行充放电，输出端便获得规律的矩形方波。振荡频率取决于  $R_1$ 、 $R_2$  和  $C_1$ 。多谐振荡器无外部信号输入，便可输出交流电压。

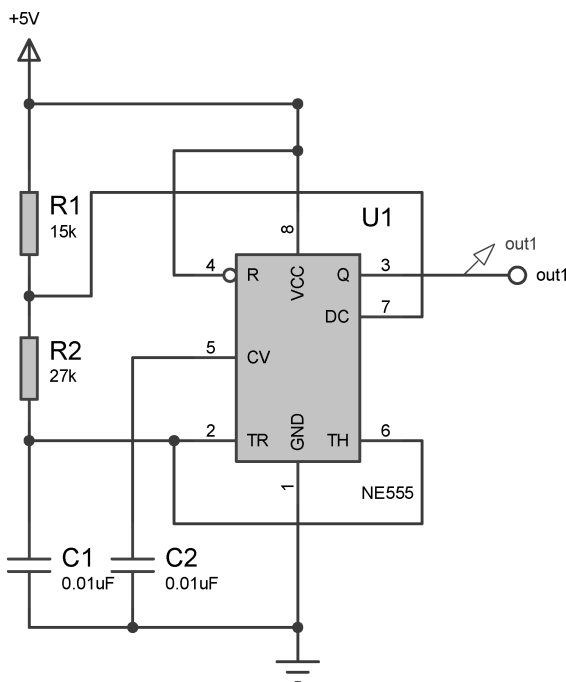


图 7-2 多谐振荡电路仿真图

在图 7-2 中，电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和电容  $C_1$  构成定时电路。定时电容  $C_1$  上的电压  $U_c$  作为高触发端 TH (6 脚) 和低触发端 TR (2 脚) 的外触发电压。放电端 DC (7 脚) 接在  $R_1$  和  $R_2$  之间。电压控制端 CV (5 脚) 不外接控制电压而接入高频干扰旁路电容  $C_2$  ( $0.01\mu\text{F}$ )。直接复位端 R (4 脚) 接高电平，使 NE555 处于非复位状态。

多谐振荡器的放电时间常数:

正向脉冲宽度  $t_{PH}$

$$t_{PH} \approx 0.693(R_1 + R_2)C_1 \quad (7-1)$$

负向脉冲宽度  $t_{PL}$

$$t_{PL} \approx 0.693R_2C_1 \quad (7-2)$$

而输出信号的振荡周期  $T$  可由式 (7-3) 得出

$$T = t_{PH} + t_{PL} \quad (7-3)$$

由式 (7-3) 可知, 输出信号振荡周期  $T$  为 0.5ms, 即输出频率为 2kHz。

脉冲振荡电路输出端 out1 用示波器监视, 仿真结果如图 7-3 所示。

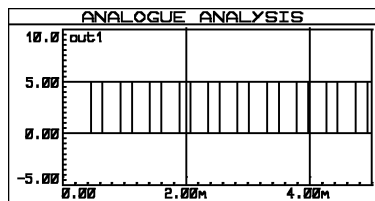


图 7-3 脉冲振荡电路输出仿真图

## 2. 倍压整流电路

如图 7-3 所示, 当 NE555 输出电压处于负半周期时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止,  $C_3$  充电,  $C_3$  电压最大值记为  $V_m$ ; 当 NE555 输出电压处于正半周期时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止,  $C_4$  充电。由于电荷的储存作用, 可以使  $C_4$  电压变为 NE555 输出电压的 2 倍, 从而达到要求。

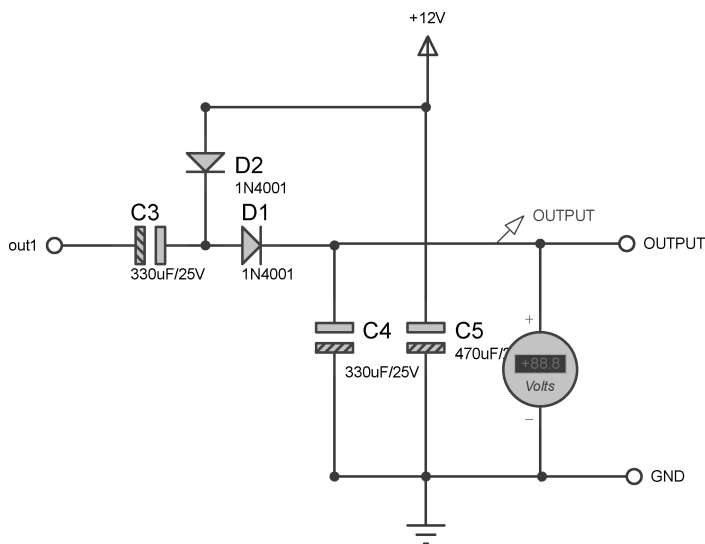


图 7-4 倍压整流电路原理图



其实  $C_2$  的电压无法在一个半周期内即充至  $2V_m$ , 它必须在几个周期后才可逐渐趋近于  $2V_m$ 。

倍压整流电路空载仿真图如图 7-5 所示。

倍压整流电路输出 OUTPUT 用示波器监视, 仿真结果如图 7-6 所示。

由图 7-5 可以看出, 倍压整流电路可在 12V 供电条件下输出 +23.5V 直流电压。若在电路输出端 OUTPUT 处接入 200k $\Omega$  负载测试, 仿真结果如图 7-7 所示。

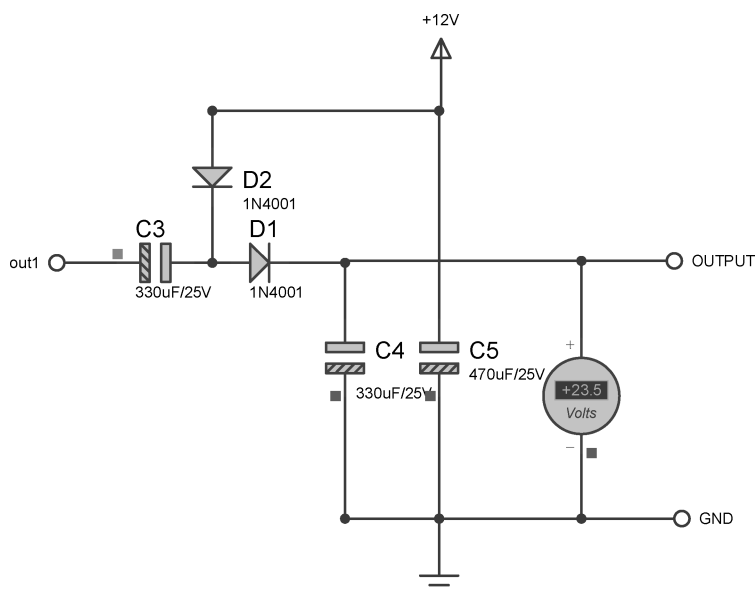


图 7-5 倍压整流电路空载仿真图

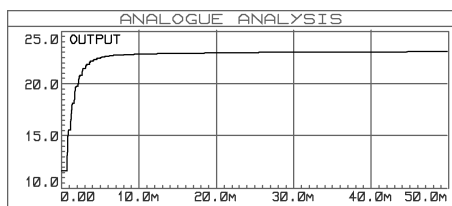


图 7-6 倍压整流电路空载输出波形

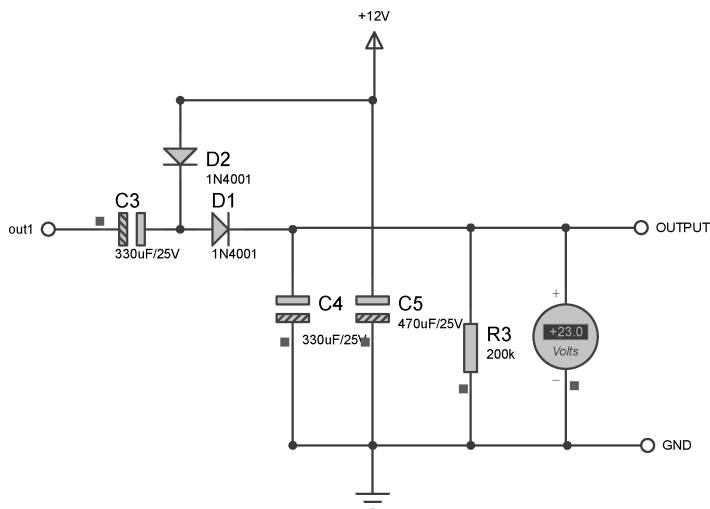


图 7-7 固定式倍压器加负载输出测试（一）

输出端 OUTPUT 波形输出结果如图 7-8 所示。

电源输出端添加 200kΩ 负载后，电源输出为 +23.0V，与空载输出 +23.5V 电压十分相近，满足设计指标。

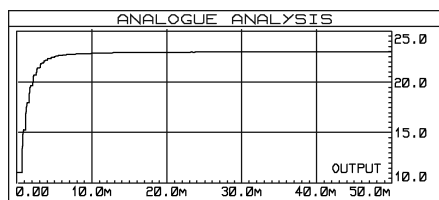


图 7-8 固定式倍压器加负载输出波形（一）

若在电路输出端 OUTPUT 处接入  $1000\text{k}\Omega$  负载测试，仿真结果如图 7-9 所示。

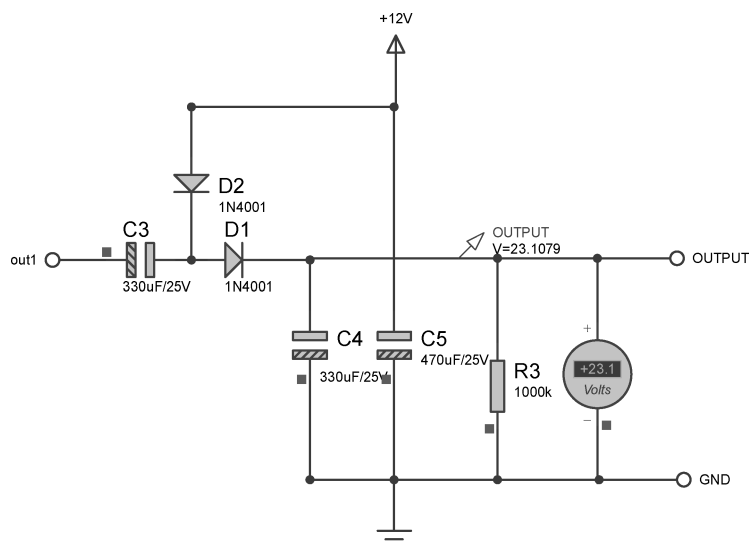


图 7-9 固定式倍压器加负载输出测试（二）

波形输出仿真结果如图 7-10 所示。

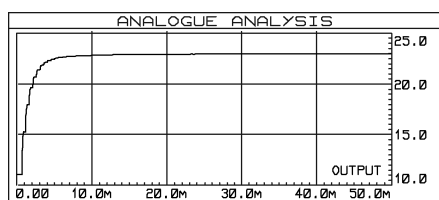


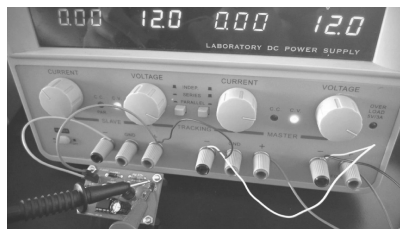
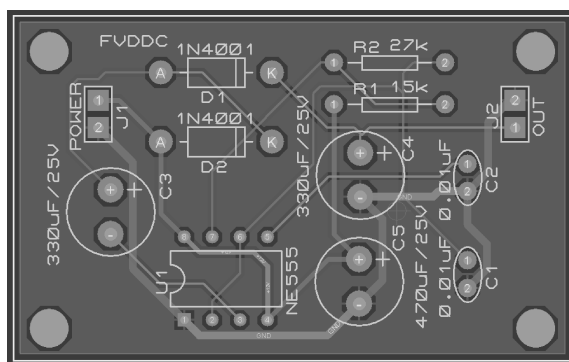
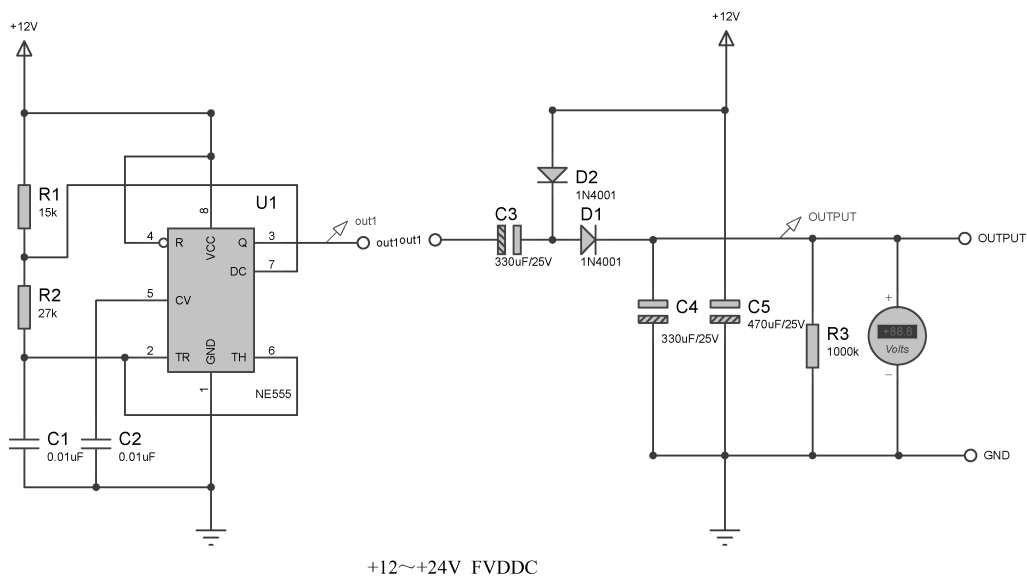
图 7-10 固定式倍压器加负载输出波形（二）

对电源输出端添加  $1000\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $+23.1\text{V}$ ，与之前的空载与加  $200\text{k}\Omega$  负载测试几乎相等，故本项目中固定式倍压器直流电源为稳压电源。

综上所述，本项目的固定式倍压器直流稳压电源电路可将直流电压  $+12\text{V}$  经过多谐振荡电路输出，再通过倍压整流电路，将电压通过电容的储能作用输出至设计要求的  $+24\text{V}$  电压。由调节负载测试可知，本项目中的固定式倍压器直流电源的输出不随负载变化而变化，满足稳压电源的设计要求。

固定式倍压器直流稳压电源电路整体电路原理图如图 7-11 所示。

经过对电路板进行实测，输入  $+12\text{V}$  直流稳压源，得到的输出为  $+23.40\text{V}$ 。设计要求输入  $+12\text{V}$  电压经二倍倍压器输出  $+24\text{V}$ ，实测基本符合设计要求。





## 项目总结

本项目任务是设计一个简单的倍压直流稳压电源，将直流电压 +12V 经过二倍倍压器，输出稳定直流电压 +24V。首先通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路。在电路进行仿真成功的基础上，经过对电路板进行实测，输入 +12V 直流稳压源，得到的输出为 +23.40V。设计要求输入 +12V 电压经二倍倍压器输出 +24V，实测基本符合设计要求。



## 思考与练习

(1) NE555 定时器在电源电路中的典型应用有哪些？

答：单电源变双电源、直流倍压电源、负电压产生电源、逆变电源等。

(2) 倍压电源电路中对二极管有什么要求？

答：正半周时，二极管  $D_1$  所承受的最大逆向电压为  $2V_m$ ，负半周时，二极管  $D_2$  所承受的最大逆向电压亦为  $2V_m$ ，所以电路中应选择  $PIV > 2V_m$  的二极管。

(3) 倍压器中进行电容选取时可以得到什么结论？

答：倍压电路中电容的取值可以不同，可以通过减小某些对输出影响不大的电容来达到节约成本、减小电路体积的目的，要使其能通过参数组合达到良好的倍压效果。



## 特别提醒

故障分析：当  $D_1$  和  $D_2$  中有一个开路时，都不能得到 2 倍的直流电压；当  $D_2$  短路时，这一整流电路没有直流电压输出；当  $C_3$  开路时整流电路没有直流电压输出，当  $C_3$  漏电时整流电路的直流输出将下降，当  $C_3$  击穿时这一整流电路只相当于半波整流电路，没有倍压整流功能。

## 项目 8 逆变式直流稳压电源电路设计

逆变器是把直流电能（电池、蓄电池）转变成交流电（一般为 220V，50Hz 正弦波）。它由逆变桥、控制逻辑和滤波电路组成，广泛适用于空调、家庭影院、电动砂轮、电动工具、缝纫机、DVD、VCD、计算机、电视、洗衣机、抽油烟机、冰箱、录像机、按摩器、风扇、照明等。在国外因汽车的普及率较高，外出工作或外出旅游即可用逆变器连接蓄电池带动电器及各种工具工作。逆变式直流稳压电源是利用逆变振荡的原理，将直流电压信号进行振荡产生交流信号，再将交流信号进行整流转换为想要的负电压直流信号作为输出，可以提供微处理器所用的某些接口器件和数模转换需要的负输出电压。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将 +12V 转化成 -10V 直流稳压电源，并保持电源输出不变。



### 基本要求

- ☺ 能够提供稳定的 -10V 直流稳压电源。
- ☺ 由输入的 +12V 转换为 -10V。



### 总体思路

逆变式直流稳压电源是利用逆变振荡的原理，将直流电压信号进行振荡产生交流信号，再将交流信号进行整流转换为想要的负电压直流信号作为输出，可以提供微处理器所用的某些接口器件和数模转换需要的负输出电压。



### 系统组成

逆变式直流稳压电源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☺ 脉冲振荡电路：利用 NE555 定时器将 +12V 的直流稳定电压进行振荡，得到连续变化的振荡脉冲波形。

⑤ 整流电路：对振荡电路的脉冲进行整流稳压，并对电压进行极性转换，从而输出可调的负电压。

系统模块框图如图 8-1 所示。

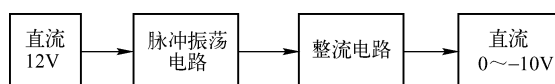


图 8-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 脉冲振荡电路

在脉冲振荡电路模块中，需要利用 NE555 定时器将直流电压输入转换为交流电压输出。由 NE555 定时器组成的多谐振荡器如图 8-2 所示。其中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_3$  为外接元件。根据 NE555 定时器的工作原理可知，电容  $C_3$  充电时，定时器输出高电平；电容  $C_3$  放电时，定时器输出低电平。电容不断地进行充放电，输出端便获得规律的矩形方波。振荡频率取决于  $R_1$ 、 $R_2$  和  $C_3$ 。多谐振荡器无外部信号输入，便可输出矩形波，即实现将直流电压变为交流电压，也就是逆变的形式。

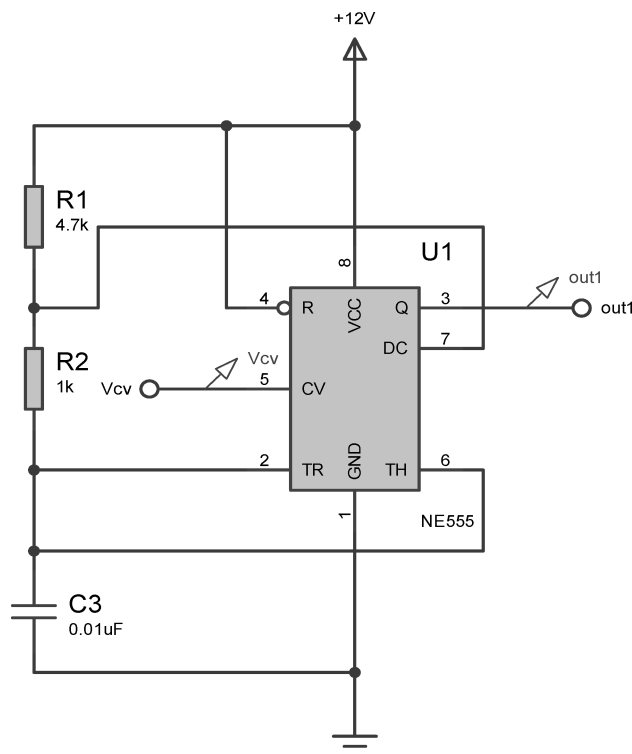


图 8-2 脉冲振荡电路原理图



图 8-2 中电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和电容  $C_1$  构成定时电路。定时电容  $C_3$  上的电压  $U_C$  作为高触发端 TH (6 脚) 和低触发端 TR (2 脚) 的外触发电压。放电端 DC (7 脚) 接在  $R_1$  和  $R_2$  之间。电压控制端 CV (5 脚) 外接控制电压  $V_{cv}$ 。直接复位端 R (4 脚) 接高电平, 使 NE555 处于非复位状态。 $V_{cv}$  由 12V 供电电压分压得到, 大小为 50mV, 波形如图 8-3 所示。

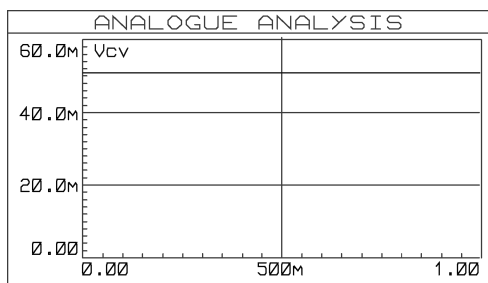


图 8-3 控制电压波形

多谐振荡器的放电时间常数:

正向脉冲宽度  $t_{PH}$

$$t_{PH} \approx 0.693(R_1 + R_2)C_1 \quad (8-1)$$

负向脉冲宽度  $t_{PL}$

$$t_{PL} \approx 0.693R_2C_1 \quad (8-2)$$

而输出信号的振荡周期  $T$  可由式 (8-3) 得出

$$T = t_{PH} + t_{PL} \quad (8-3)$$

由式 (8-3) 可知, 输出信号振荡周期  $T$  为 25 $\mu$ s, 频率为 40kHz。

脉冲振荡电路输出端 out1 仿真结果如图 8-4 所示。

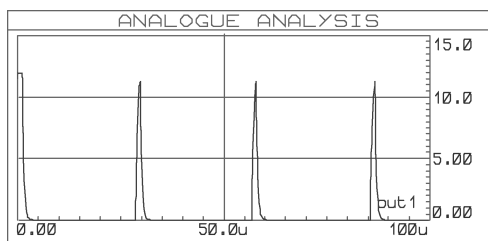


图 8-4 脉冲振荡电路输出仿真图

## 2. 整流及负电压产生电路

采用 NE555 定时器进行振荡后, 振荡器的输出选择适当的整流电路。输出晶体管交替地把负载连接到正电源和地端, 从而对输出的信号进行整流, 能够利用电位器进行调压。

如图 8-5 所示为负电压产生电路, 其包括第一开关管  $D_2$ 、第二开关管  $D_1$ 、第一电容  $C_1$ 、第二电容  $C_2$ , 来自振荡器的电压通过第一开关管的源极和漏极、第二开关管的源极

和漏极接地。这样的二极管整流器可以把振荡器的输出倍压，产生负电压。

选取  $R_{V1}$  阻值为  $20k\Omega$ ，调整其至位置 1（50%），整流及负电压产生电路原理图如图 8-5 所示。

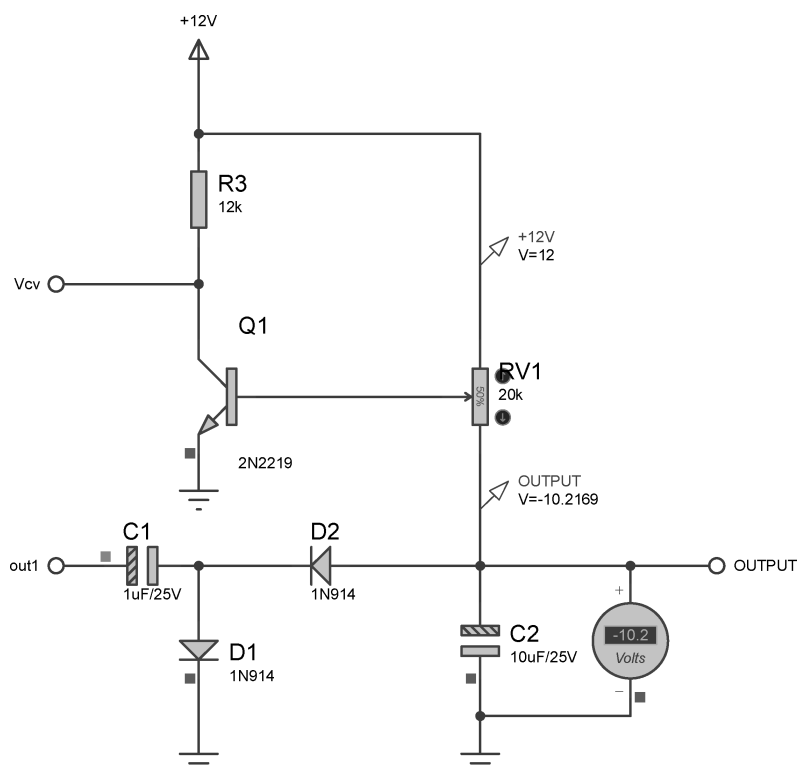


图 8-5  $R_{V1}$  处于位置 1 时整流及负电压产生电路原理图

其中电位器  $R_{V1}$  调整端与三极管 2N2219 基极相连，控制  $Q_1$  导通与断开，从而改变输出端电位。12V 电压经过  $R_{V1}$  产生压降，在输出端与整流电路输出的  $-12V$  叠加，从而最终输出  $-10V$  电压。电路输出端 OUTPUT 波形以图表显示，仿真结果如图 8-6 所示。

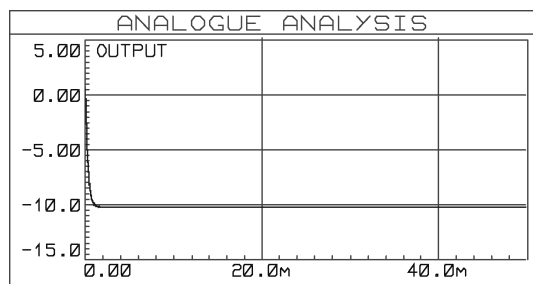


图 8-6  $R_{V1}$  处于位置 1 时整流及负电压产生电路输出波形

调节  $R_{V1}$  位置至位置 2（70%），整流及负电压产生电路仿真图如图 8-7 所示。

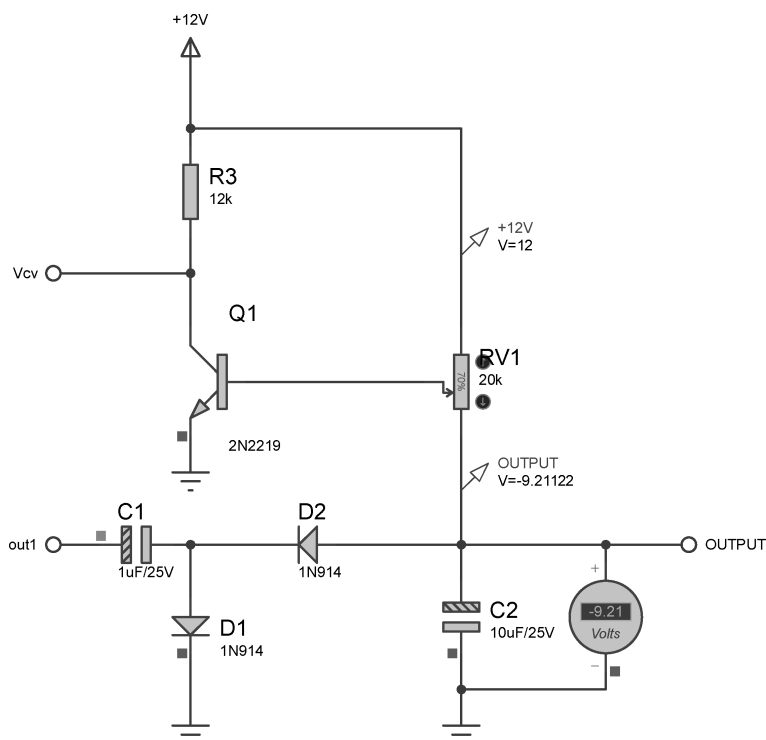


图 8-7  $R_{V1}$  处于位置 2 时整流及负电压产生电路仿真图

电路输出端 OUTPUT 波形以图表显示，仿真结果如图 8-8 所示。

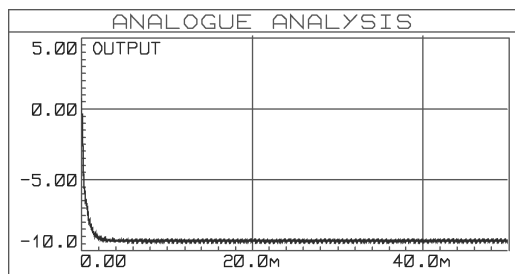


图 8-8  $R_{V1}$  处于位置 2 时整流及负电压产生电路输出波形

如图 8-7 所示，本设计利用电位器  $R_{V1}$  将输出电压调节为  $-9.21\text{V}$ ，实现了输出电压可调功能，并且电路输出端 OUTPUT 始终保持输出稳定直流电压。

将  $R_{V1}$  置于位置 1，在电路输出端加入  $50\text{k}\Omega$  负载进行测试，其结果如图 8-9 所示。

输出端 OUTPUT 波形输出结果如图 8-10 所示。

电源输出端添加  $50\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $-10.1\text{V}$ ，与空载输出  $-10.2\text{V}$  电压十分相近，满足设计指标。若在电路输出端 OUTPUT 处接入  $100\text{k}\Omega$  负载测试，仿真结果如图 8-11 所示。

用图表显示加负载的电源输出波形，结果如图 8-12 所示。

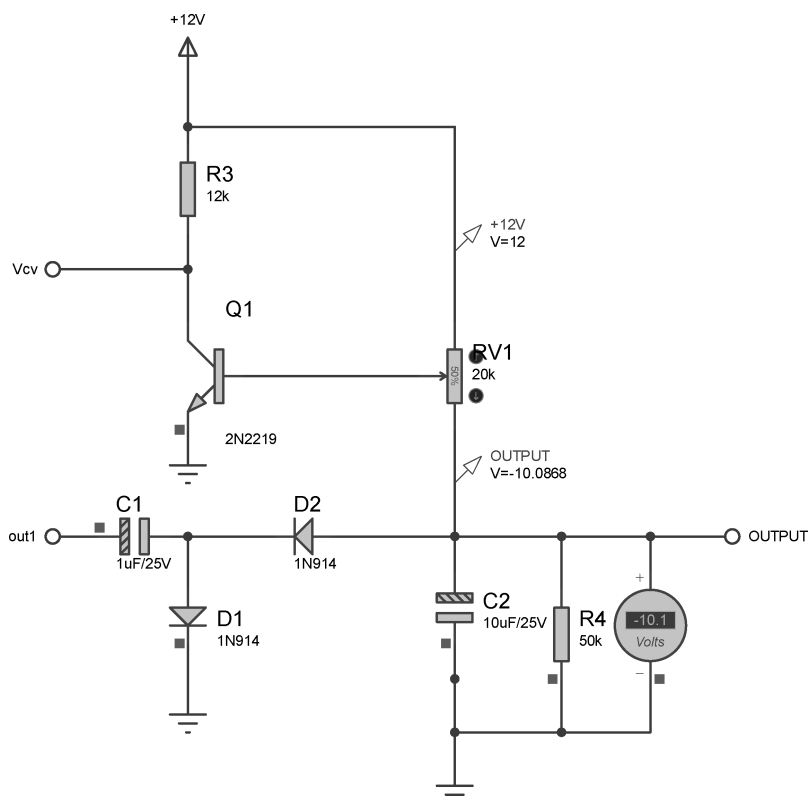


图 8-9 加负载后电源输出仿真结果（一）

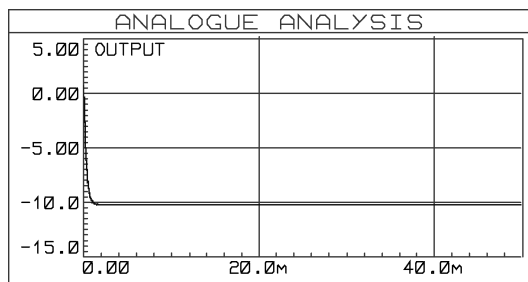


图 8-10 加负载后电源输出仿真波形（一）

对电源输出端添加  $100\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $-10.1\text{V}$ ，与之前的空载与加  $50\text{k}\Omega$  负载测试几乎相等，故本项目中固定式倍压器直流电源为稳压电源。

综上所述，本项目设计的逆变式直流稳压电源电路通过 NE555 定时器电路，将  $+12\text{V}$  的直流供电转变为矩形波，再将其通过电容的储能作用输出。 $12\text{V}$  的输入电压又经过  $R_{V1}$  产生压降，在输出端与整流电路输出的  $-12\text{V}$  叠加，从而最终输出  $-10\text{V}$  电压。

逆变式直流稳压电路整体电路原理图如图 8-13 所示。

经过对电路板进行实测，输出端电压测得为  $-9.89\text{V}$ 。设计要求输入  $+12\text{V}$  直流电源，输出  $-10\text{V}$  电压，实测基本符合设计要求。

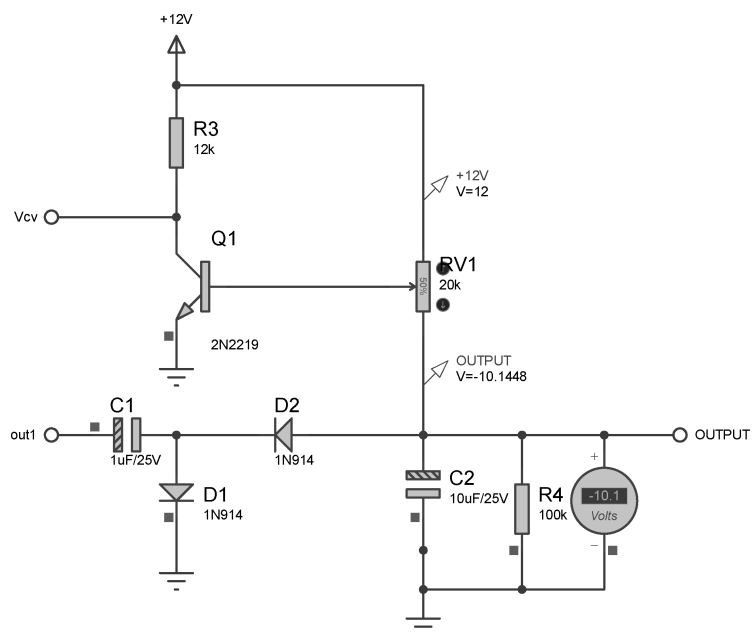


图 8-11 加负载后电源输出仿真结果（二）

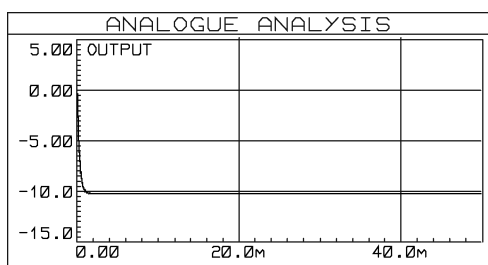


图 8-12 加负载后电源输出仿真波形（二）

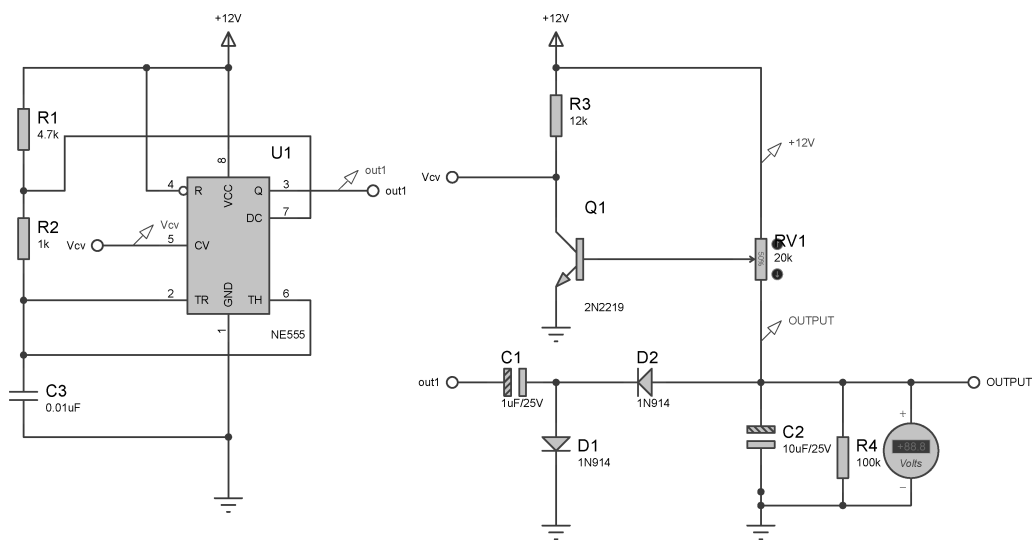


图 8-13 整体电路原理图



## PCB 版图（见图 8-14）

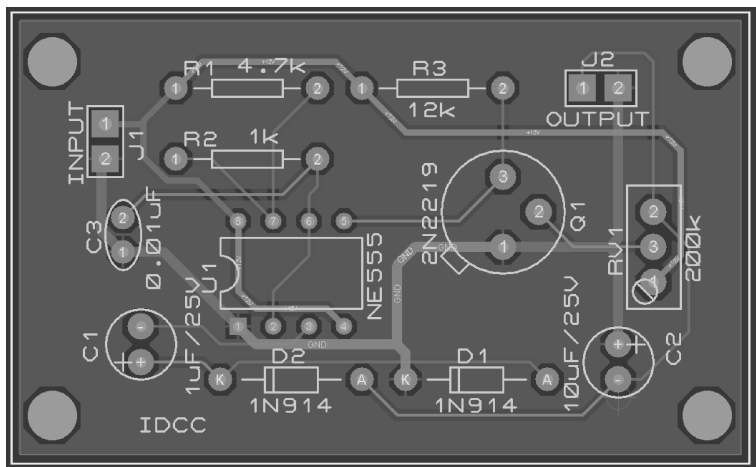


图 8-14 PCB 版图



## 实物测试（见图 8-15、图 8-16）

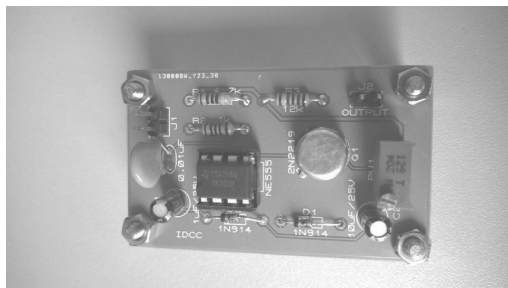


图 8-15 逆变式直流稳压电源电路实物图

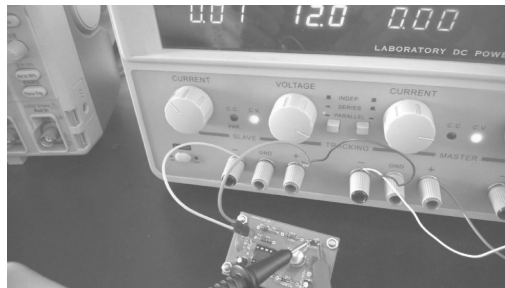


图 8-16 逆变式直流稳压电源电路测试图



## 项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、

负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。本项目所介绍的逆变式直流稳压电路与传统的稳压电源相比有所不同。其原理是将直流正电压输入转变为矩形波，再通过电容的储能作用输出。储能作用输出的电压与整流电路输出的电压经过叠加后最终得到与原输入电压反相的稳压输出。且输出电压精确可测，控制部分电路简单明了，满足设计指标。



## 思考与练习

(1) 要产生负电压有哪些常用的方法？

答：可以采用三极管推挽放大的倍压整流方法，也可以利用开关电源原理的电压反接原理以及利用 NE555 定时器逆变式转换的方法。

(2) 常见 DC/DC 电路有哪些？

答：DC/DC 电源电路又称为 DC/DC 转换电路，其主要功能就是进行输入输出电压转换。一般把输入电源电压在 72V 以内的电压变换过程称为 DC/DC 转换。常见的电源主要分为车载与通信系列和通用工业与消费系列，前者的使用电压一般为 48V、36V、24V 等，后者使用的电压一般在 24V 以下。不同应用领域规律不同，如 PC 中常用的是 12V、5V、3.3V，模拟电路常用 5V、15V，数字电路常用 3.3V 等。DC/DC 转换电路主要分为三大类：稳压管稳压电路、线性（模拟）稳压电路、开关型稳压电路。



## 特别提醒

测试过程中首先要观察经过振荡后的信号是否为满足要求频率的方波信号。

## 项目 9 升压式 DC/DC 电源电路设计

自举电路也叫升压电路，利用自举升压二极管、自举升压电容等电子元件，使电容放电电压和电源电压叠加，从而使电压升高。有的电路升高的电压能达到数倍电源电压。升压过程就是一个电感的能量传递过程。充电时，电感吸收能量，放电时电感释放能量。如果电容量足够大，那么在输出端就可以在放电过程中保持一个持续的电流。如果这个通断的过程不断重复，就可以在电容两端得到高于输入电压的电压。



### 设计任务

设计一个升压 DC/DC 电路，使得在输入电压 5V 的情况下，采用 MC34063 使得输出电压升压为稳定直流 12V。



### 基本要求

- ☺ 电路采用直流（DC）5V 供电。
- ☺ 使用 MC34063 模块进行稳压并升压。



### 总体思路

采用 MC34063 直流升压模块使整个电路输出 12V 直流电压，利用设置外围电路的电阻阻值来确定输出电压。



### 系统组成

升压 DC/DC 电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☺ 直流电压源：直流电压源为整个电路提供 5V 的稳定电压。
- ☺ 升压电路：利用 MC34063 集成电路对输入电压进行升压。

系统模块框图如图 9-1 所示。



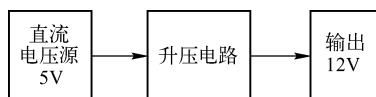


图 9-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 直流电压源

MC34063 模块使用 5V 直流电压供电，可为该模块驱动管集电极、IPK 检测提供输入。如图 9-2 所示，电压源 +5V 作为输入接到 MC34063 模块 7、8 脚以保证模块正常工作。此外，该电路还需提供直流 +5V 电压为电感储能模块供电，如图 9-3 所示。

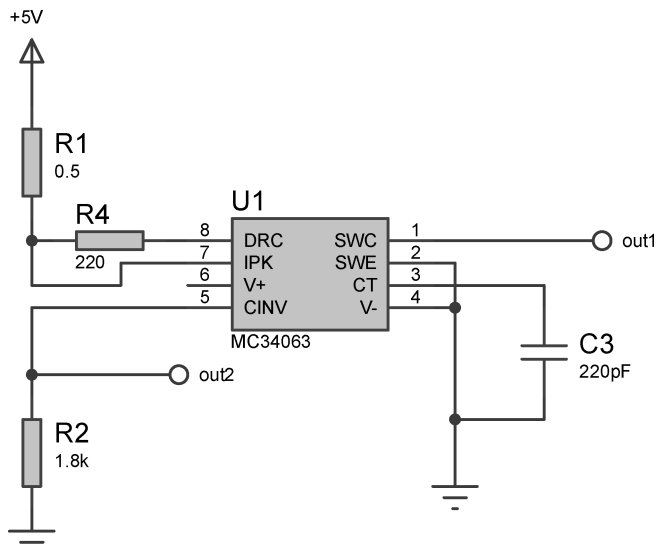


图 9-2 MC34063 模块 5V 供电

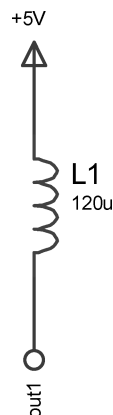


图 9-3 电感储能 5V 供电

### 2. 升压变换电路

该器件本身包含了 DC/DC 变换器所需要的主要功能的单片控制电路，且价格便宜。它由具有温度自动补偿功能的基准电压发生器、比较器、占空比可控的振荡器、R-S 触发器和大电流输出开关电路等组成。该器件可用于升压变换器、降压变换器的控制核心，由它构成的 DC/DC 变换器仅用少量的外部元器件。其主要应用于以微处理器 (MPU) 或单片机 (MCU) 为基础的系统里。MC34063 的基本结构及引脚图如图 9-4 所示。

其输入电压范围为 3.0 ~ 40V；输出电压可调范围为 1.25 ~ 40V；输出电流为 1.5A；工作频率最高可达 100kHz。MC34063 的 3 脚为定时电容  $C_3$  接线端，调节  $C_3$  可使工作频率在 100Hz ~ 100kHz 范围内变化，决定其内部工作频率。

MC34063 外围电路仿真图如图 9-5 所示。

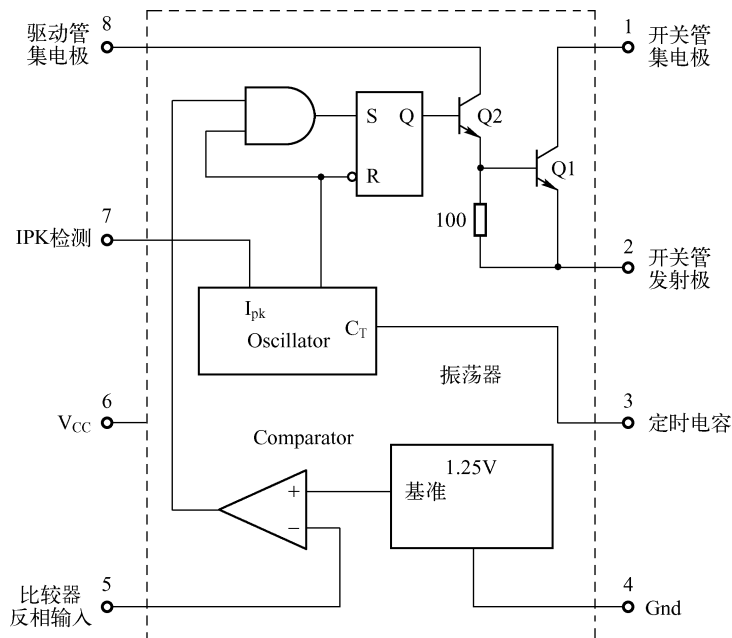


图 9-4 MC34063 的基本结构及引脚图

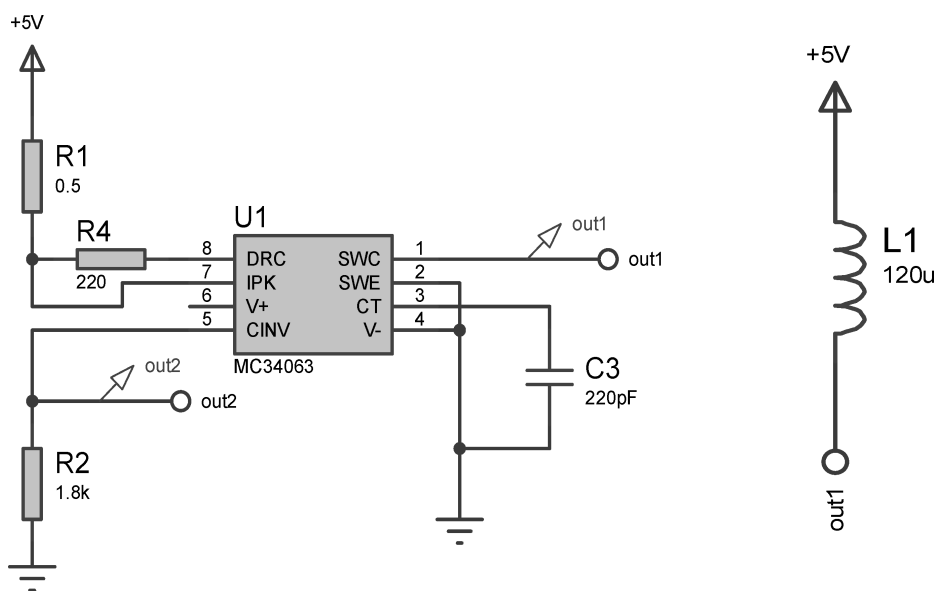


图 9-5 MC34063 外围电路仿真图

当 MC34063 内部开关管导通时，相当于器件 1, 2 脚导通，所以电感处于充电状态；当内部开关管关闭时，相当于器件 1, 2 脚断开，此时 +5V 电源与电感一同作用，成为 out1 端输出。out1 端输出波形如图 9-6 所示。

电感在释放能量期间，由于其两端的电动势极性与电源极性相同，相当于两个电源串联，因而负载上得到的电压高于电源电压。out2 端输出波形如图 9-7 所示。

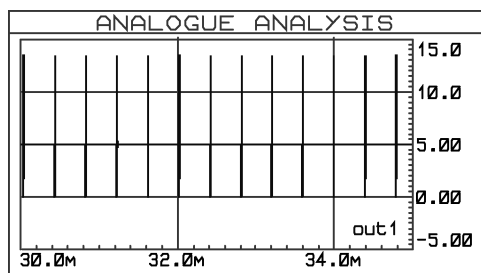


图 9-6 out1 端输出波形

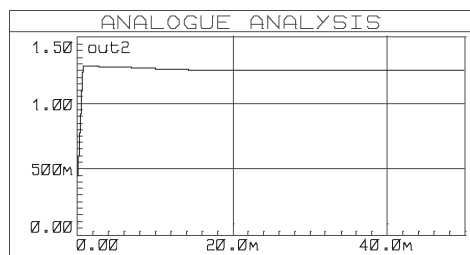


图 9-7 out2 端输出波形

当芯片内开关管 ( $D_1$ ) 导通时, 电源经取样电阻  $R_1$ 、电感  $L_1$ 、MC34063 的 1 脚和 2 脚接地, 此时电感  $L_1$  开始存储能量 (见图 9-8), 而由  $C_1$  对负载提供能量。当  $D_1$  断开时, 电源和电感同时给负载和电容  $C_1$  提供能量。电感在释放能量期间, 由于其两端的电动势极性与电源极性相同, 相当于两个电源串联, 因而负载上得到的电压高于电源电压。开关管导通与关断的频率称为芯片的工作频率。只要此频率相对负载的时间常数足够高, 负载上便可获得连续的直流电压。电路输出模块如图 9-9 所示。

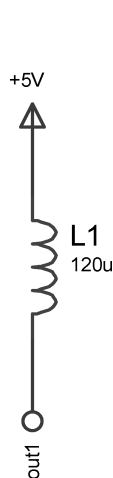


图 9-8 电感储能

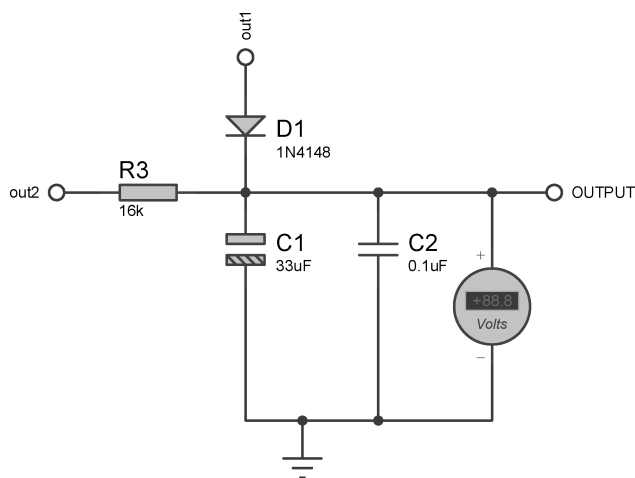


图 9-9 电路输出模块

$R_2$ 、 $R_3$  决定输出电压, OUTPUT 端输出电压值可根据式 (9-1) 计算。

$$V_o = 1.25(1 + R_3/R_2) \quad (9-1)$$

根据  $R_3 = 16k\Omega$ 、 $R_2 = 1.8k\Omega$  可计算得出  $V_o = 12.4V$ 。

在电路输出端 OUTPUT 进行空载输出测试，仿真结果如图 9-10 所示。

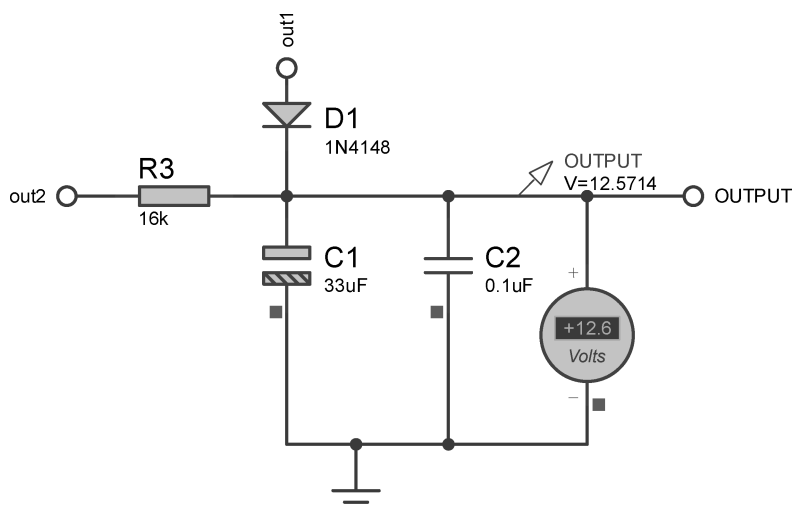


图 9-10 电路空载输出测试

OUTPUT 端空载输出波形如图 9-11 所示。

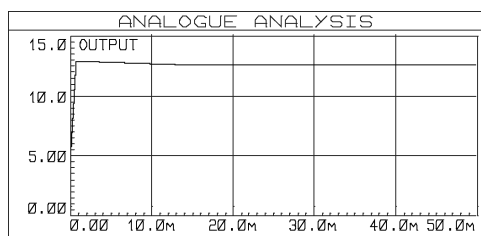


图 9-11 电路空载输出波形

由电路空载输出测试可知，电路输出经过 out1 与 out2 端叠加，可得到大小为 12.6V 的直流电压。在电路输出端加入 10kΩ 负载测试，仿真结果如图 9-12 所示，电路输出波形如图 9-13 所示。

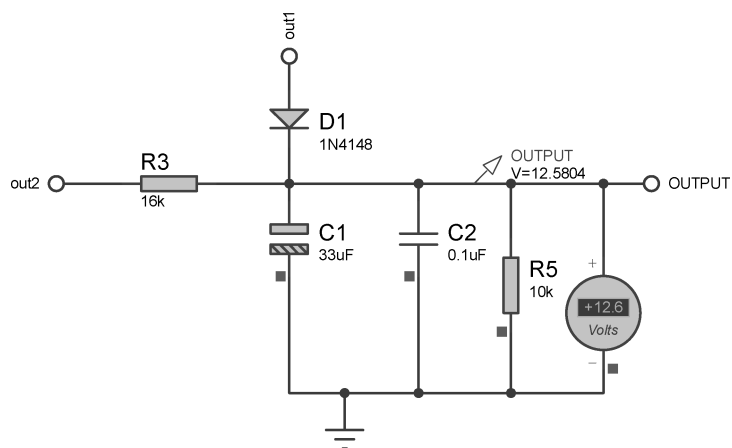


图 9-12 电路负载输出仿真图（一）

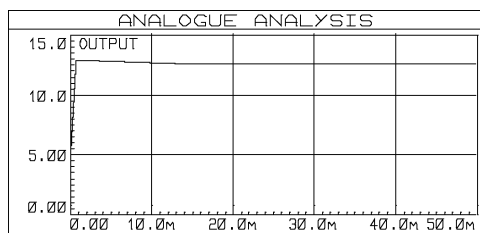


图 9-13 电路负载输出波形（一）

如图 9-12 所示，在电路输出 OUTPUT 端加入  $10\text{k}\Omega$  负载后，电路输出仍为大小  $+12.6\text{V}$  的直流电压。随后在电路输出端加入  $100\text{k}\Omega$  负载测试，仿真结果如图 9-14 所示，电路输出波形如图 9-15 所示。

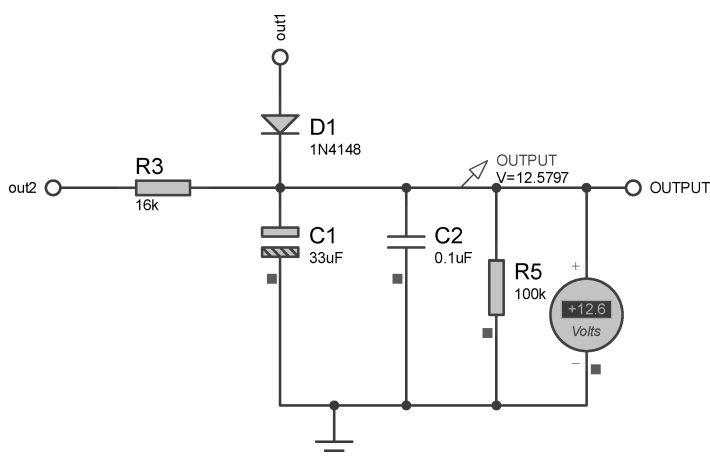


图 9-14 电路负载输出仿真图（二）

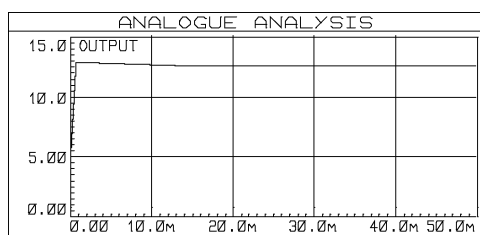


图 9-15 电路负载输出波形（二）

本升压电路分别在几种情况下保持输出稳定的直流电压，大小均为  $+12.6\text{V}$ 。由此可见，本电路为直流稳压电路。

综上所述，电路使用  $5\text{V}$  供电，利用 MC34063 进行升压，最终可输出直流  $+12.6\text{V}$  电压，达到了设计要求。此外，在电源两端加入不同负载，电路输出不随负载的变化而改变。

升压式 DC/DC 电源电路的整体电路原理图如图 9-16 所示。

经过测试，输入  $+5\text{V}$  直流稳压电源，经过升压式 DC/DC 电路，输出电压为  $+12.6\text{V}$ 。设计要求输出电压  $+12\text{V}$ ，实测基本符合设计要求。

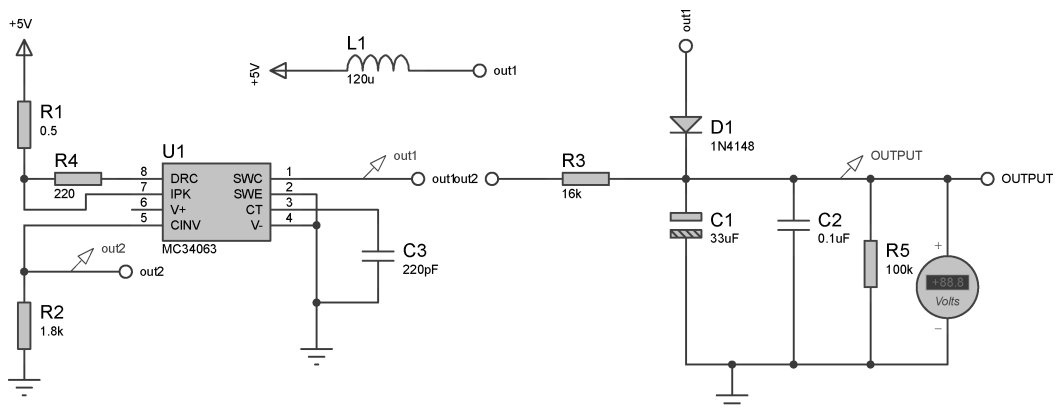


图 9-16 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 9-17)

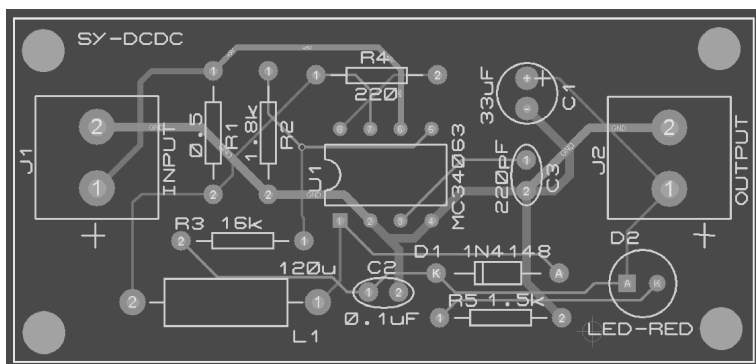


图 9-17 PCB 版图



实物测试 (见图 9-18、图 9-19)

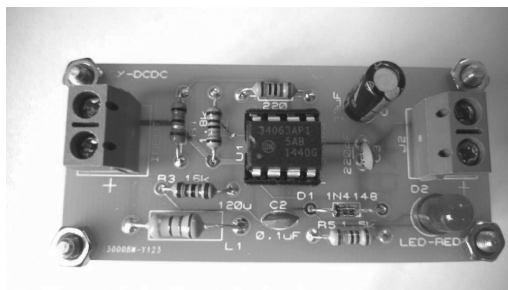


图 9-18 升压式 DC/DC 电源电路实物图

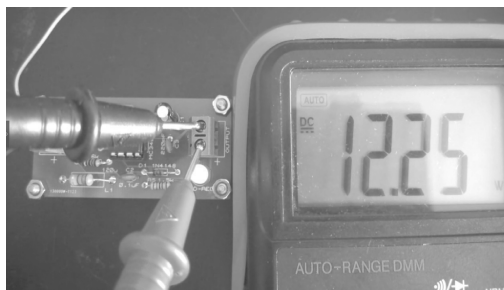


图 9-19 升压式 DC/DC 电源电路测试图



## 项目总结

本项目任务是设计一个升压 DC/DC 电路，使得在输入电压 5V 的情况下，采用 MC34063 使得输出电压升压为稳定直流 12V。升压过程就是一个电感的能量传递过程。充电时电感吸收能量，放电时电感放出能量。如果电容量足够大，输出端就可以在放电过程中保持一个持续的电流。如果这个通断的过程不断重复，就可以在电容两端得到高于输入电压的电压。在输出测试时，电路使用 5V 供电，利用 MC34063 进行升压，最终可输出直流 12.6V 电压，达到了设计要求。此外，在电源两端加入不同负载，电路输出不随负载的变化而改变。



## 思考与练习

(1) 什么是 DC/DC 转换器？一般应用在何种场合？

答：直流升压就是将电池提供的较低的直流电压，提升到需要的电压值，其基本的工作过程是：高频振荡产生低压脉冲 - 脉冲变压器升压到预定电压值 - 脉冲整流获得高压直流电，因此直流升压属于 DC/DC 电路的一种类型。在使用电池供电的便携设备中，都是通过直流升压电路获得电路所需要的高电压，这些设备包括手机、传呼机等无线通信设备，照相机中的闪光灯，便携式视频显示装置，电蚊拍等。

(2) 升压电路可以通过什么方法来实现？

答：可以利用 NE555 定时器产生脉冲振荡从而实现 DC/DC 升压，也可利用自举升压二极管、自举升压电容等电子元件构成 DC/DC 升压电路，本项目中采用 MC34063 集成电路 DC/DC 变换器来实现。

(3) 在电路中如何扩大输出电流，使功率达到特定要求？

答：输出功率达不到要求的时候，比如大于 250 ~ 300mA 时，可以通过外接扩功率管的方法扩大电流，双极型或 MOS 型扩流管均可。



## 特别提醒

PCB 布局时须注意：开关导通和关断都存在一个电流环路，这两个环路都是高频、大电流的环路，所以在布局和布线时都要将此二环路面积设计得最小。用于反馈的取样电压要从输出电容上引出，并注意芯片或开关管的散热。

## 项目 10 正负跟踪直流稳压电源电路设计

在电子电路设计中，最离不开的就是电源。不管是调试测试电路，还是驱动电路，它们都离不开电源的应用。本项目通过变压器将市电 220V 交流电压降压为电源电路所需电压，经过整流使交流信号转换成直流信号。利用运算放大器使负电压能够跟随正电压，需要预设稳压电源对放大器进行供电。设置滤波电路去除纹波，稳压电路保持输出稳定，从而输出想要的电源电压。



### 设计任务

设计一个直流稳压电源，将市电转化成稳定的直流电源，使电源能够输出 0 ~ 15V 双电源，并且负电压跟随正电压输出。



### 基本要求

- ☺ 能够提供稳定的直流稳压电源，负电压能够跟随正电压输出。
- ☺ 电压调整率  $\leq 0.2\%$ ，负载调整率  $\leq 1\%$ ，纹波电压（峰-峰值） $\leq 5\text{mV}$ （最低输入电压下，满载）。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



### 总体思路

通过变压器将市电 220V 交流电压降压为电源电路所需电压，经过整流使交流信号转换成直流信号。利用运算放大器使负电压能够跟随正电压，需要预设稳压电源对放大器进行供电。设置滤波电路去除纹波，稳压电路保持输出稳定，从而输出想要的电源电压。



### 系统组成

正负跟踪直流稳压电源电路整个系统主要分以下五个部分。

- ☺ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足电源输出的需要。



- ☺ 整流电路：将交流电压变为单方向脉动的直流电压。
  - ☺ 滤波电路：去除整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。
  - ☺ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。
  - ☺ 负电压跟随电路：使负电压跟随正电压的变化而变化，正负输出电压值相等。
- 系统模块框图如图 10-1 所示。

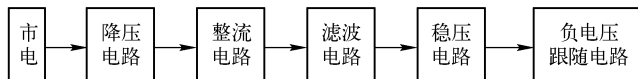


图 10-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。

整流电路原理图如图 10-2 所示。

整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 10-3 所示。

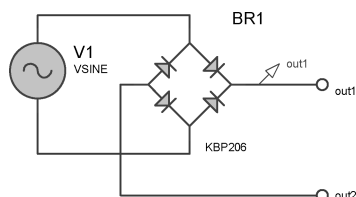


图 10-2 整流电路原理图

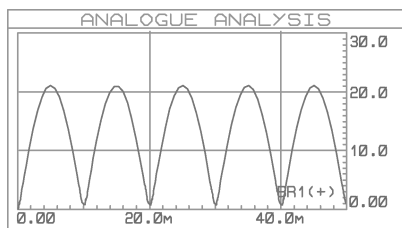


图 10-3 整流电路输出仿真图

电流输入设置如图 10-4 所示，为了模仿市电经降压后的输入电压，将电压输入设置为 50V，频率设置为 50Hz。

### 2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小，可以满足放电时间常数较大的条件，所以输出电压波形的放电段比较平缓，纹波较小，输出脉动系数  $S$  小，输出平均电压  $U_o$  大，具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联，正半周时电容充电，负半周时电容放电，就可在负载上得到平滑的直流电。这里须要注意，在三端稳压器输出端接入电解电容  $C_2 = C_4 = 20\mu\text{F}$  用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容  $C_7 = C_8 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段比较明显，所以不能抑制高频干扰）。滤波电路如图 10-5 所示。

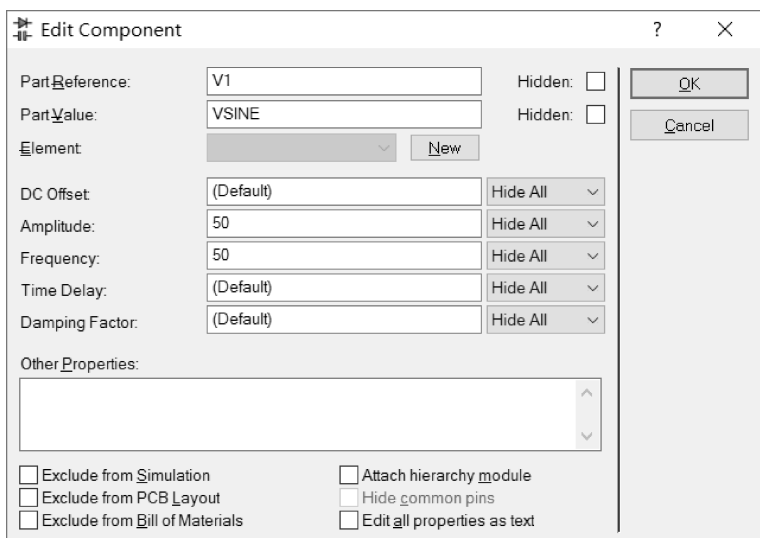


图 10-4 电流输入设置

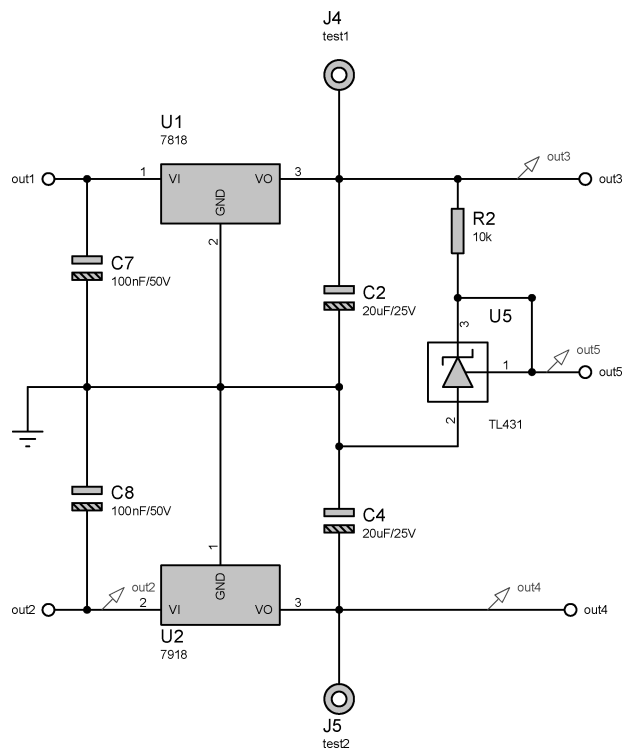


图 10-5 滤波电路

为了验证滤波电路的效果，以前端滤波电路（见图 10-6）为例进行分析。

整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 10-7 所示。

若将  $C_1$  电容值调整为  $100\mu\text{F}$ ，如图 4-8 所示，则会导致电路输出端 out1 与 out2 电压大小不等。

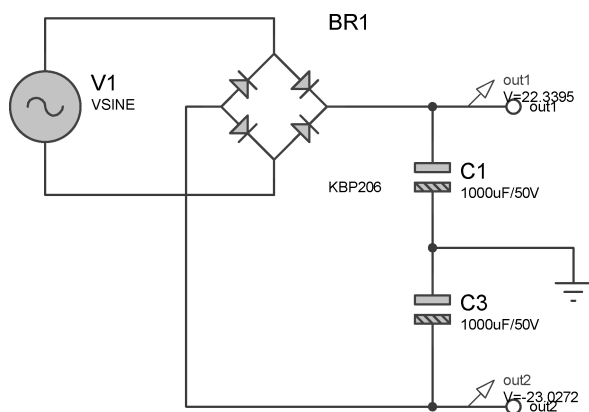


图 10-6 前端滤波电路

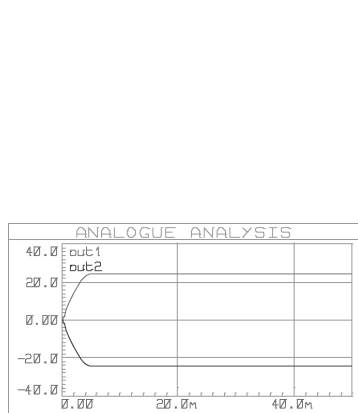


图 10-7 整流电路输出仿真图

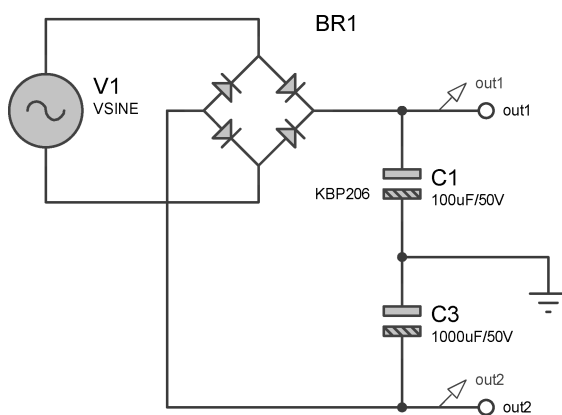


图 10-8 调节  $C_1$  后的滤波电路

滤波电路输出端 out1 与 out2 处加入探针，用图表显示其输出结果，如图 10-9 所示。

滤波电路中电容大小除影响电路的滤波效果外，还影响到电桥的整流输出。若上下电路不对称，则不会输出大小相等的直流电压有效值，即不会输出大小相等的直流正负电压。

### 3. 稳压电路及基准电压输出电路

本项目选用的三端稳压器分别为 7818、7918、7805 以及 7905， $U_1$  和  $U_2$  的作用是提供稳压电源

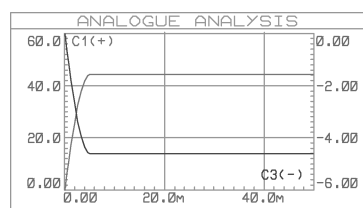


图 10-9 调节  $C_1$  后滤波电路输出仿真图

以使运算放大器工作， $U_3$ 、 $U_4$  的作用是输出电源电路要求的电压。输入端 out1、out2 接上级整流电路输出端，经稳压器 7818、7918 输出稳定电压。稳压电路如图 10-10 所示，在 out3、out4 端得到的正负输出电压分别为 +17.8V 和 -17.3V。

用图表记录当前稳压电路输出端 out3、out4 输出信号，如图 10-11 所示。

基准电压 ( $V_{out5} = 2.5V$ ) 由 TL431 产生。这个电压经分压后输入运算放大器的正输入端。输出电压为 6V。因而，要使得变化为  $0 \sim +2.5V$ ，则运放正输入端的变化应为  $0 \sim +15V$ 。 $R_2$  可决定流过 TL431 的电流大小，当  $R_2 = 10k\Omega$  时，out5 端约有 2.5V，如图 10-12

所示。

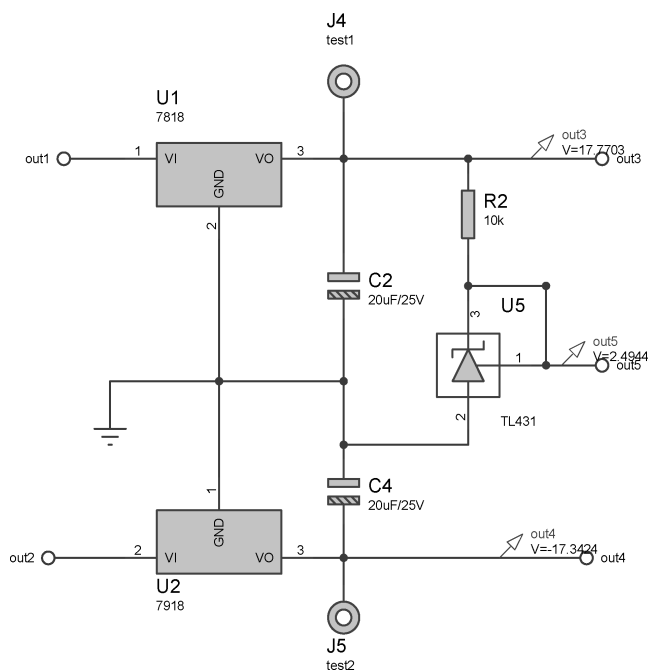


图 10-10 稳压电路

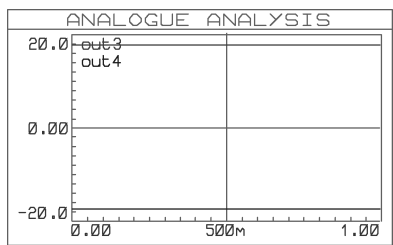


图 10-11 稳压电路输出仿真图（一）

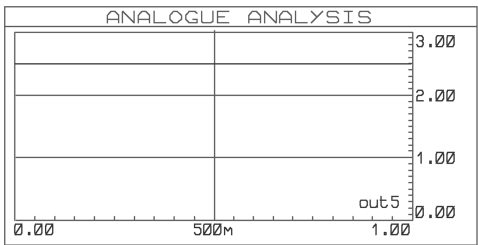


图 10-12 稳压电路输出仿真图（二）

#### 4. 正负跟随电压输出电路

将上级稳压电路的输出端 out3 ~ out5 接入至正负跟随直流稳压电路。运放输出电压由  $R_{V1}$  当前阻值来决定，当为最大值 2.5V 时，这时输出应为 15V。要使运放的放大倍数为 5， $R_1$  与  $R_4$  之间的比应为 5:1，可选  $R_1 = 100\text{k}\Omega$ 、 $R_4 = 20\text{k}\Omega$ 。

电阻  $R_3$  和  $R_5$  的作用是使负电压能够跟踪正电压变化，这里取  $R_3 = R_5 = 100\text{k}\Omega$ 。

正负跟随直流稳压电路空载仿真如图 10-13 所示。

如图 10-13 所示， $R_{V1}$  在位置 1（78%）时，正负跟随直流稳压电路输出端 output1 与 output2 可分别输出 +3.84V、-3.72V 电压值。

正负跟随直流稳压电路空载输出如图 10-14 所示。

调节  $R_{V1}$ ，使其阻值减小到达位置 2（26%），则其对应电源输出电压也会减小。此时空载输出电压约为 +11.01V。与此同时，负电源追踪示数为 -11.21V。仿真结果如图 10-15 所示。

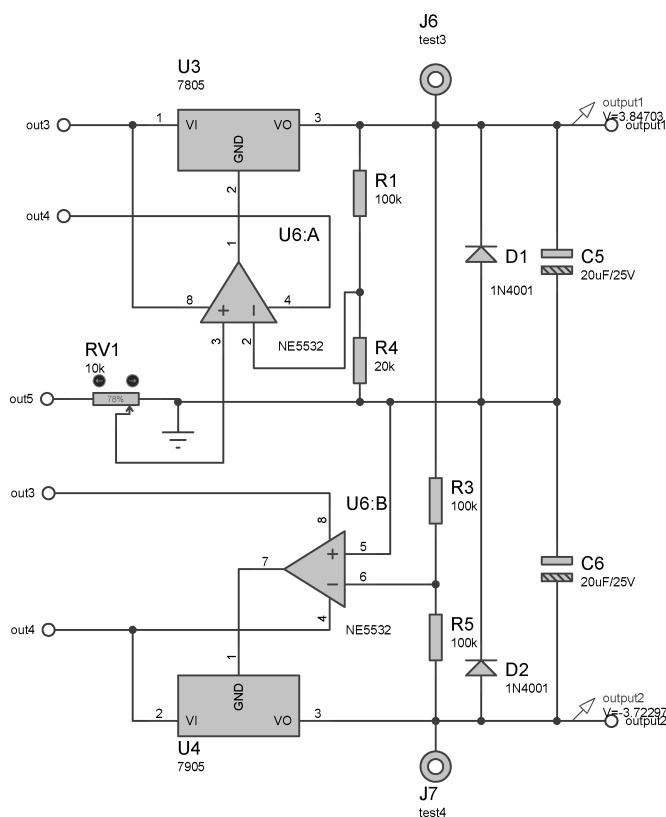


图 10-13  $R_{V1}$  处于位置 1 时空载仿真

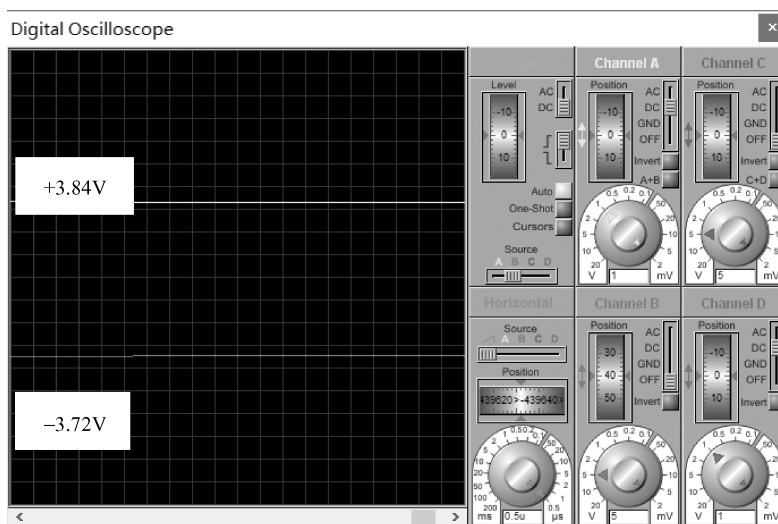


图 10-14  $R_{V1}$  处于位置 1 时空载输出

正负跟随直流稳压电路空载输出如图 10-16 所示。

在两个稳压器输出端 out3、out4 处分别接入  $1k\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 10-17 所示。

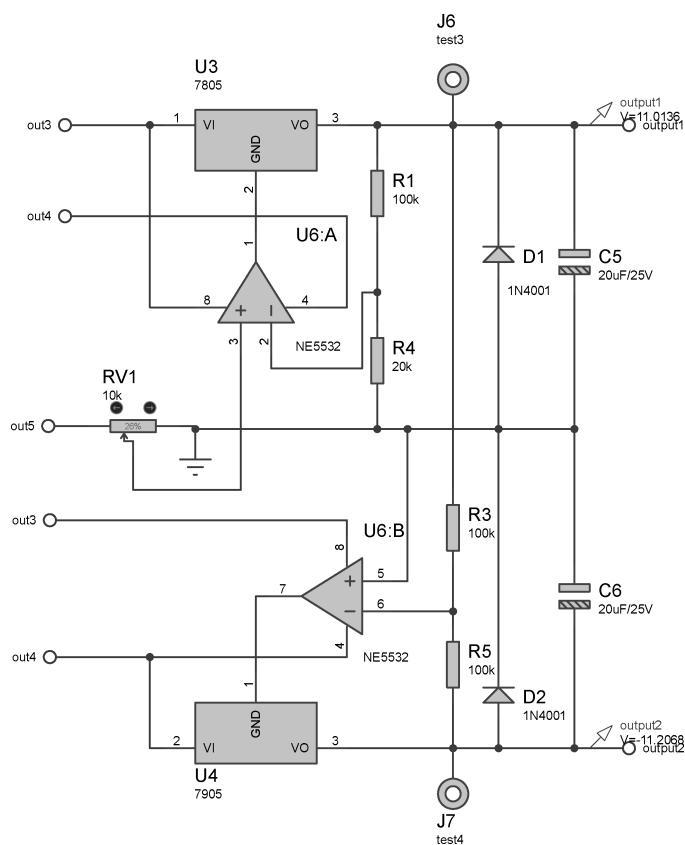


图 10-15  $R_{V1}$  处于位置 2 时空载仿真

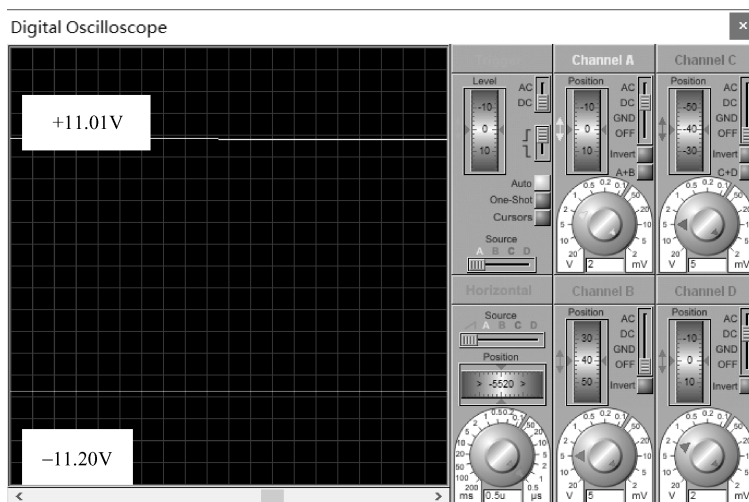


图 10-16  $R_{V1}$  处于位置 2 时空载输出

在加入  $1\text{k}\Omega$  电阻与 LED 负载后，电压跟随电路输出的正负电压不会随着负载变化而变化，并可将 LED 点亮。

用示波器监视正电压输出端 out3 与 out4，结果如图 10-18 所示。

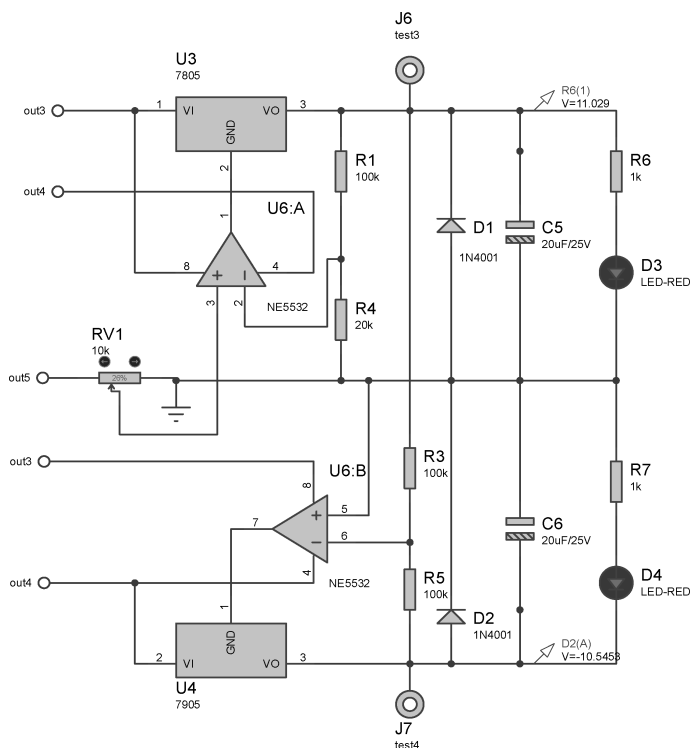


图 10-17  $R_{V1}$  处于位置 2 时加负载仿真（一）

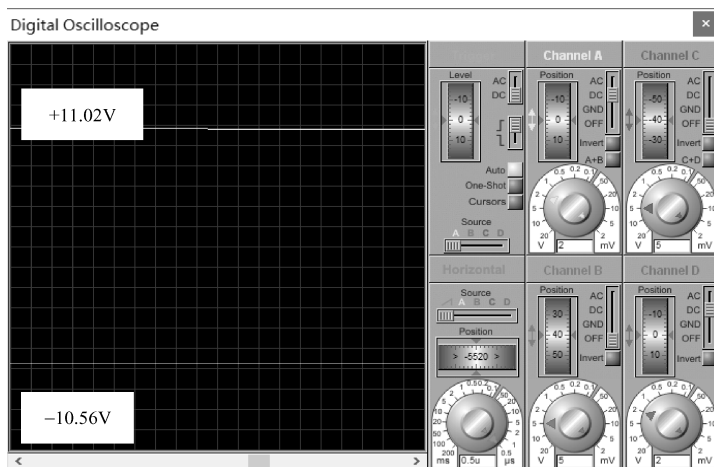


图 10-18  $R_{V1}$  处于位置 2 时加负载输出（一）

在两个稳压器输出端 out3、out4 处接入  $5k\Omega$  电阻与 LED 负载测试，仿真结果如图 10-19 所示。

同样的，在加入  $5k\Omega$  电阻与 LED 负载后，电压跟随电路输出的正负电压不会随着负载变化而变化，并可 LED 点亮。但由于加入的负载电阻较大将导致 LED 亮度较弱。

可见，通过调节  $R_{V1}$  并达到位置 2（26%），实现了对正负跟踪电压的控制功能。除此之外，在控制的过程中输出电压的绝对值始终保持跟踪状态，因而满足项目的设计要求。

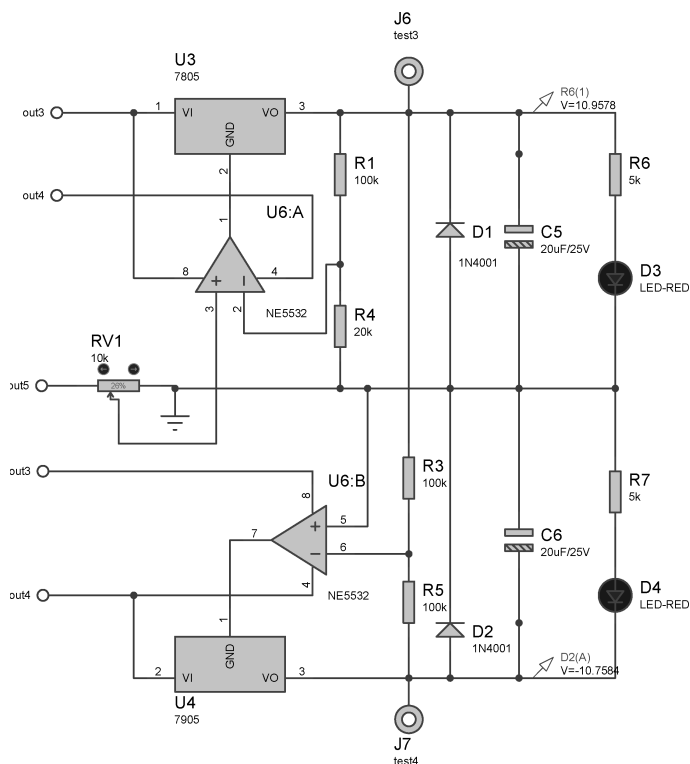


图 10-19  $R_{V1}$  处于位置 2 时加负载仿真（二）

输出仿真结果如图 10-20 所示。

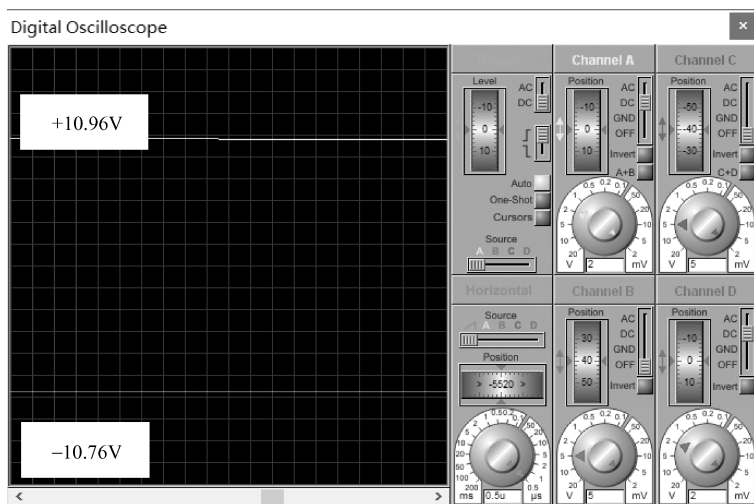


图 10-20  $R_{V1}$  处于位置 2 时加负载输出（二）

由仿真结果得出，本正负跟踪直流稳压电源，可将市电转化成稳定的直流电源，电源经稳流后能够输出  $0 \sim 15V$  的正负双电源，并且负电压跟随正电压输出。输出电压可以通过调节  $R_{V1}$  使其阻值减小，可实现对正负跟踪电压的控制，并在控制的过程中，输出电压的绝对值始终保持跟踪状态，满足项目的设计要求。

正负跟踪直流稳压电源电路的整体电路原理图如图 10-21 所示。



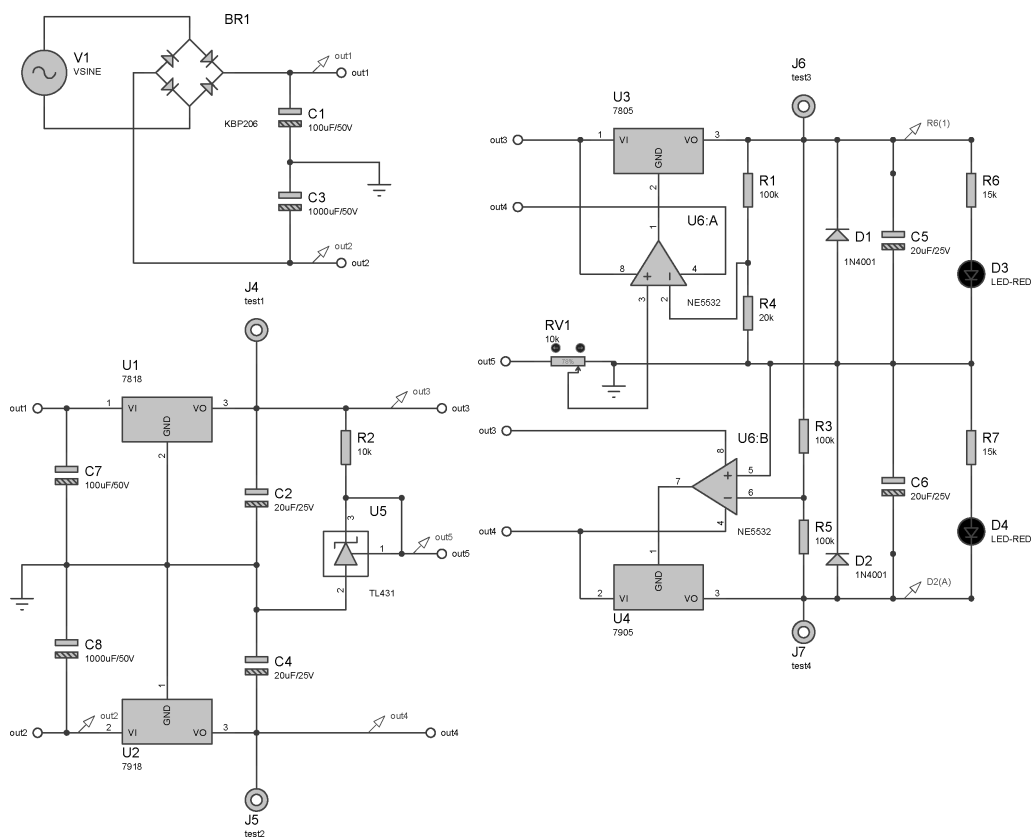


图 10-21 整体电路原理图

经过电路板实际测试，测试正电压输出最大值为 +14.58V，负电压输出最大值为 -14.58V；正电压输出最小值为 +4.2mV，负电压输出最小值为 -4.2mV，调解过程中负电压跟随正电压变化。设计要求输出 0~15V 的正负电压，负电压跟随正电压变化，实测符合设计要求。



PCB 版图 (见图 10-22)

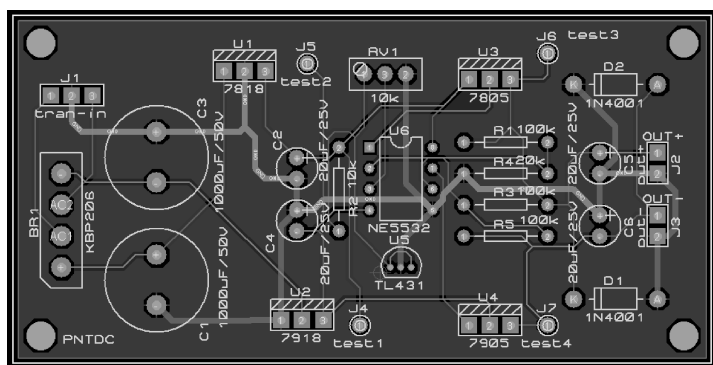


图 10-22 PCB 版图



## 实物测试（见图 10-23、图 10-24）

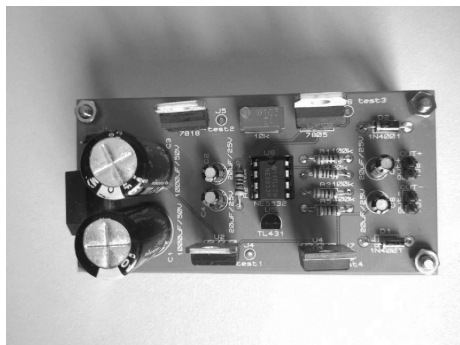


图 10-23 正负跟踪直流稳压电源电路实物图

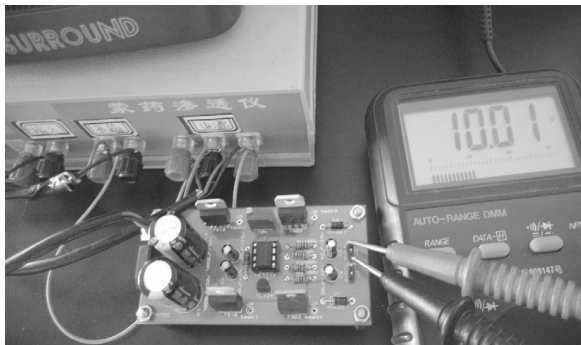


图 10-24 正负跟踪直流稳压电源电路测试图



## 项目总结

本项目要求一个直流稳压电源，将市电转化成稳定的直流电源，使电源能够输出 0 ~ 15V 双电源，并且负电压跟随正电压输出。通过变压器将市电 220V 交流电压降压为电源电路所需电压，经过整流使交流信号转换成直流信号。利用运算放大器使负电压能够跟随正电压，需要预设稳压电源对放大器进行供电。设置滤波电路去除纹波，稳压电路保持输出稳定，从而输出想要得到的电源电压。



## 思考与练习

(1) 在设计电源电路时，如何根据电源的要求对器件进行选择？

答：二极管的选择要满足额定电压值和额定电流值。

(2) 设计正负跟踪电源电路时，如何选择运算放大器？

答：由于输出到运算放大器的电源电压较高，约为  $\pm 18V$ ，所以选用耐压为  $\pm 22V$  的 NE5532 型运算放大器。

(3) 对于电容应该如何进行选择？

答：选择电容时，应考虑电解电容的耐压值。电容的额定电压指的是能够连续施加的最大电压，如果是使用在额定电压极限值的条件下，有可能缩短电容器的寿命，所以使用的电压应为电容器额定电压的 70% ~ 80%。



## 特别提醒

电路的调整过程：按照电路图制作电路板并确认无误后，接通交流市电→将  $R_{V1}$  调至最大，分别确认“+”为 +15V、“-”为 -15V→改变  $R_{V1}$ ，确认上述输出可变化到 0V→将“+”、“-”重新调整到 15V，再将  $100\Omega$ 、3W 的电阻分别接到电源输出与地之间，这时应有 150mA 的输出电流，电压不应变动→将输出端直接与地做一次短路，如电路仍能恢复原输出电压，说明电路工作正常。

## 项目 11 恒功率充电电路设计

在电子电路设计中，最离不开的就是电源。不管是调试测试电路，还是驱动电路，都离不开电源的应用。恒功率的意义是指输出电流和电压的乘积恒定。此电源广泛应用于工业控制、设备、机器、仪器等电子设备。本项目设计一个简单的固定式恒功率充电电路，通过前置电路和稳压电路得到输出为 2.5 ~ 7.4V 调节电压，充电电流约为 500 $\mu$ A，LED 指示灯反映充电情况。利用 LM317 与 TL431 实现对充电电池的恒定电流、恒定电压充电，即恒功率充电。



### 设计任务

设计一个恒功率充电电路，恒流恒压的情况下充电，红灯亮表示正在充电。



### 基本要求

- ☉ 恒功率充电电路必须是恒流恒压的电路，电压可调范围为 2.5 ~ 7.4V，充电电流为 500 $\mu$ A。
- ☉ LED 灯显示电路正常工作，电池充电达到设定电压值时 LED 灯渐渐熄灭。



### 总体思路

设计一个简单的固定式恒功率充电电路，通过前置电路和稳压电路得到输出为 2.5 ~ 7.4V 调节电压，充电电流约为 500 $\mu$ A，LED 指示灯反映充电情况。利用 LM317 与 TL431 实现对充电电池的恒定电流、恒定电压充电。



### 系统组成

恒功率充电电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☉ 前置电路：为系统提供 9V 电压和滤波的作用。
  - ☉ 可调稳压电路：为系统提供可调的恒定电压以及电流。
- 系统模块框图如图 11-1 所示。

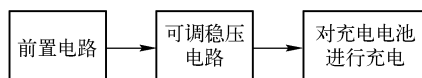


图 11-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 前置电路

这个模块分输入部分和滤波部分。输入部分由 9V 电源供电，由电压源或电池提供电压。100 $\mu$ F/50V 电解电容的作用是滤波，在现实中，为了不使电路各部分供电电压因负载变化而产生变化，所以在电源的输出端及负载的电源输入端个别焊接十至数百微法的电解电容。当 9V 电源接入电路时 D<sub>4</sub> 指示灯亮。前置电路原理图如图 11-2 所示。

### 2. 可调稳压电路

这是电源芯片和它的外围电路，核心器件为三端稳压器件 LM317，功能主要是稳定电压信号，以便提高系统的稳定性和可靠性能。

LM317：由 VI 端提供工作电压，需要用极小的电流来调整 ADJ 端的电压，便可在 VO 端得到比较大的电流输出。还可以通过调整 ADJ 端（1 端）的电阻值改变输出电压。所以，当 ADJ 端的电阻值增大时，输出电压将会升高。

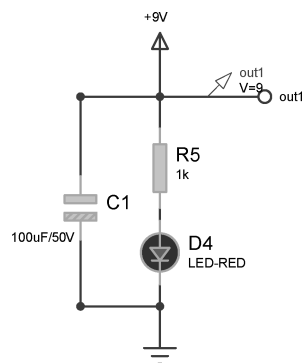


图 11-2 前置电路原理图



### 注意

LM317 有一个最小负载电流的问题，即只有负载电流超过某一数值时，它才能起到稳压的作用。这个电流随器件生产厂家的不同在 3~8mA 不等，可以通过在负载端口外接一个合适的电阻来解决。TL431 是一个稳压器，通过调节内部三极管的导通量调节外部输出，使基准电压保持在 2.5V。TL431 的 1 脚连接电位器，是为防止电池电压反冲。

当 R<sub>p1</sub> 处于位置 1（90%）时，可调稳压电路仿真图如图 11-3 所示。

电路中的恒流电路由 LM317 与电阻 R<sub>2</sub>、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>、R<sub>8</sub> 构成，恒流电流的大小由电阻 R<sub>2</sub> 与 R<sub>6</sub> 并联阻值决定，其中充电电流 I 为

$$I = 1.95/R_2 \quad (11-1)$$

式中 1.95V 是由 LM317 的启控电压 1.25V 与二极管 D<sub>3</sub> 的结电压 0.7V 之和估算所得。

电路中恒压电路由 TL431、R<sub>p1</sub>、R<sub>4</sub> 组成，调节 R<sub>p1</sub> 大小就可以改变恒压电压的高低，可调节输出电压在 2.5~7.4V 之间变化。输出电压公式为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_{p1}}{R_4}\right) \times 2.5 \quad (11-2)$$

式中 2.5V 为 TL431 提供的基准电压。这样就可以从输出端输出恒定电压、恒定电流。根

据上述公式，可得充电恒流为  $500\mu\text{A}$ ，充电恒压为  $+3\text{V}$ 。仿真结果如图 11-4 ~ 图 11-7 所示。

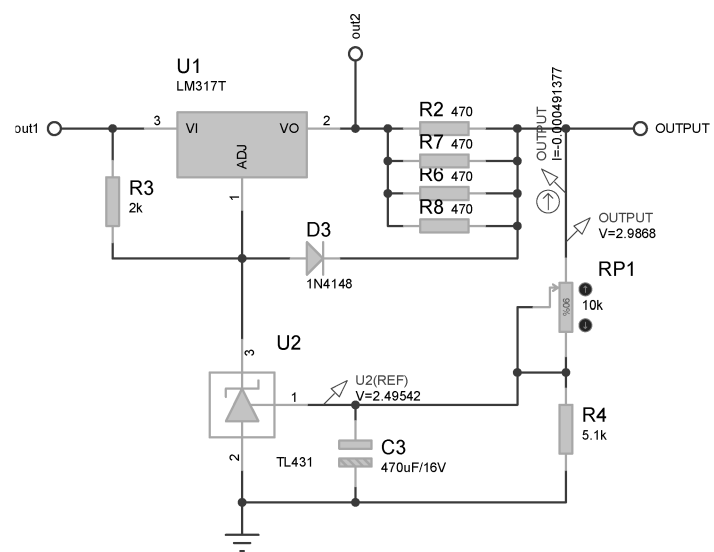


图 11-3  $R_{P1}$  处于位置 1 时可调稳压电路仿真图

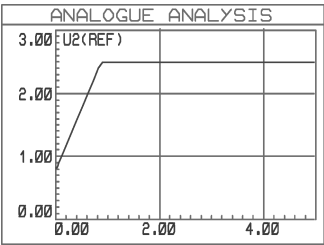


图 11-4 基准电压输出波形（一）

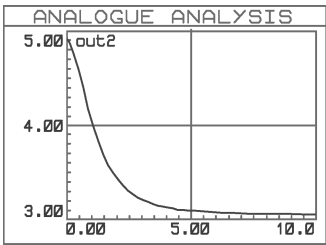


图 11-5 稳压器输出波形（一）

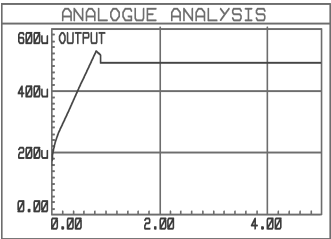


图 11-6 恒流输出波形（一）

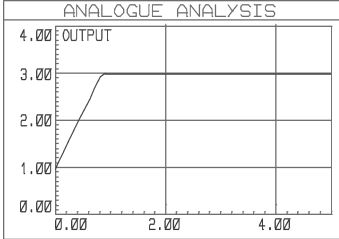


图 11-7 恒压输出波形（一）

如上所示，由 TL431 产生的基准电压稳定为  $2.5\text{V}$ 。在电位器  $R_{P1}$  处于位置 1（90%）时，三端稳压器输出端 out2 输出  $3.1\text{V}$  直流电压。此时电路输出端 OUTPUT 可输出大小为  $500\mu\text{A}$  的恒流与大小为  $3\text{V}$  的恒压。

利用输出的恒流与恒压给电池充电，这里用  $10000\mu\text{F}$  的电解电容模拟电池，其内阻为  $10\Omega$ 。充电过程仿真如下。

如图 11-8 所示，在充电过程中由于 out2 端与节点存在足够的压降，此时指示灯亮起。由于充电作用  $R_1$  处电压不断增大，最终使得 out2 端与节点处压降为零，指示灯熄灭。监视充电电池两端电压如图 11-9 所示。

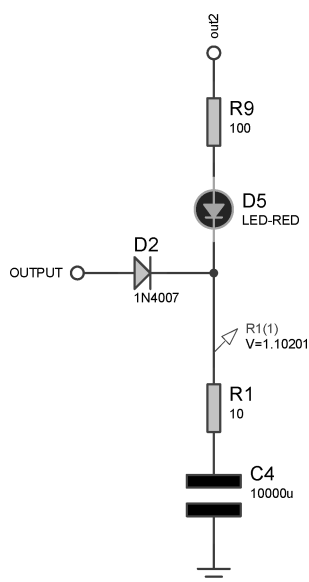


图 11-8 充电及显示电路

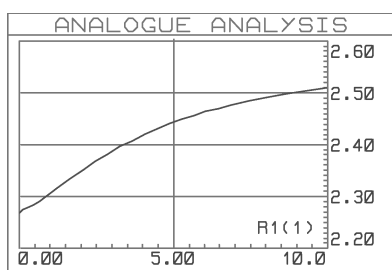


图 11-9 充电电池电压

充电时 LED 灯  $D_5$  发光，电池充电到设定恒压值时，充电电流慢慢减小，LM317 输入端与输出端之间的电压差逐渐减小，使得  $D_5$  熄灭。

将  $R_{p1}$  调节至位置 2 (20%) 处，三端稳压器调整端电压改变，导致输出端 out2 电压减小。除此之外，此时由于电位器接入阻值改变，输出恒压与恒流增大。仿真结果如图 11-10 所示。

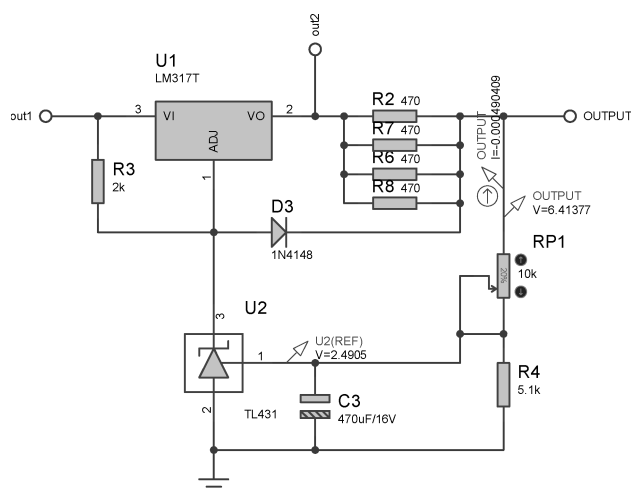


图 11-10  $R_{p1}$  处于位置 2 时可调稳压电路仿真图

根据式 (11-1)、式 (11-2) 计算, 此时输出恒流应约为  $500\mu\text{A}$ , 输出恒压约为  $6.4\text{V}$ 。

各端口仿真输出波形如图 11-11 ~ 图 11-14 所示。

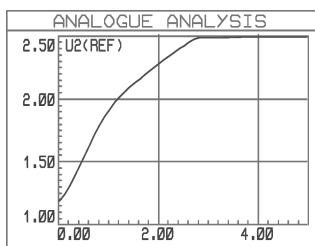


图 11-11 基准电压输出波形 (二)

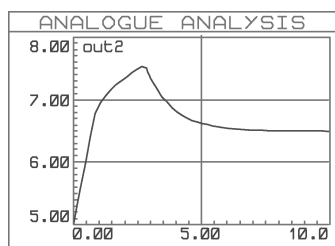


图 11-12 稳压器输出波形 (二)

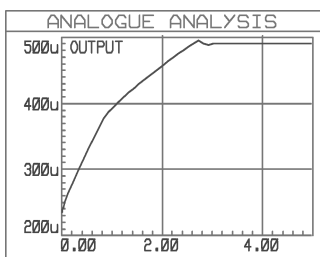


图 11-13 恒流输出波形 (二)

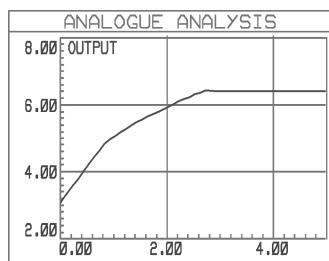


图 11-14 恒压输出波形 (二)

如上所示, 由 TL431 产生的基准电压稳定为  $2.5\text{V}$ 。在电位器  $R_{p1}$  处于位置 2 (20%) 时, 三端稳压器输出端 out2 输出  $6.5\text{V}$  直流电压。此时电路输出端 OUTPUT 可输出大小为  $500\mu\text{A}$  的恒流与大小为  $6.4\text{V}$  的恒压。

设待充电电源内阻为  $10\Omega$ , 充电过程仿真如图 11-15、图 11-16 所示。

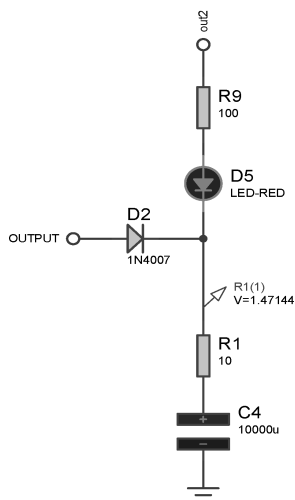


图 11-15 充电及显示电路 (一)

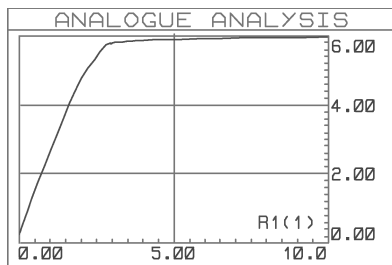


图 11-16 充电过程中电池两端电压 (一)

如图 11-15 与图 11-16 所示, 充电时 LED 灯  $D_5$  发光, 电池两端电压逐步逼近恒压值  $6.4\text{V}$  时, 充电电流慢慢减小, 电路上 LM317 输出端与输出端之间的电压也慢慢下降, 使



得  $D_5$  熄灭。随后，将电源内阻调整为  $100\Omega$ ，充电过程仿真如图 11-17、图 11-18 所示。

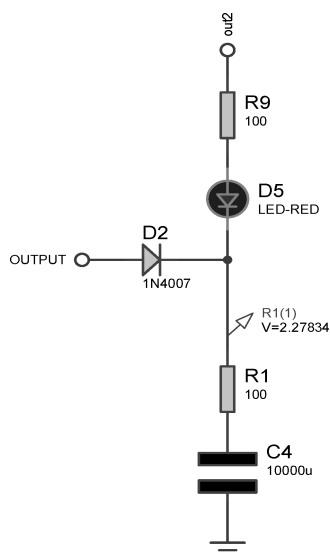


图 11-17 充电及显示电路（二）

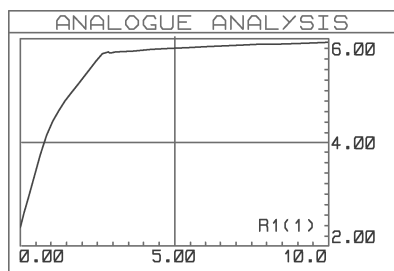


图 11-18 充电过程中电池两端电压（二）

当加在电路输出两端的负载  $R_L$  改变至  $100\Omega$  时，同样的，充电时 LED 灯  $D_5$  发光，电池充电达到设定恒压值  $6.4V$  所需时间变长，充电完毕后电流会逐步减小。LM317 输入端与输出端之间的电压差逐渐减小，导致  $D_5$  熄灭。

可见，使  $R_{p1}$  达到位置 2（20%）时，电路电压可调节至  $+6.4V$  左右恒定输出，实现了充电可调功能，与此同时也保证  $500\mu A$  的恒流输出且不随负载变化而改变。所以，可知本设计为恒功率充电电路。

整体电路原理图如图 11-19 所示。

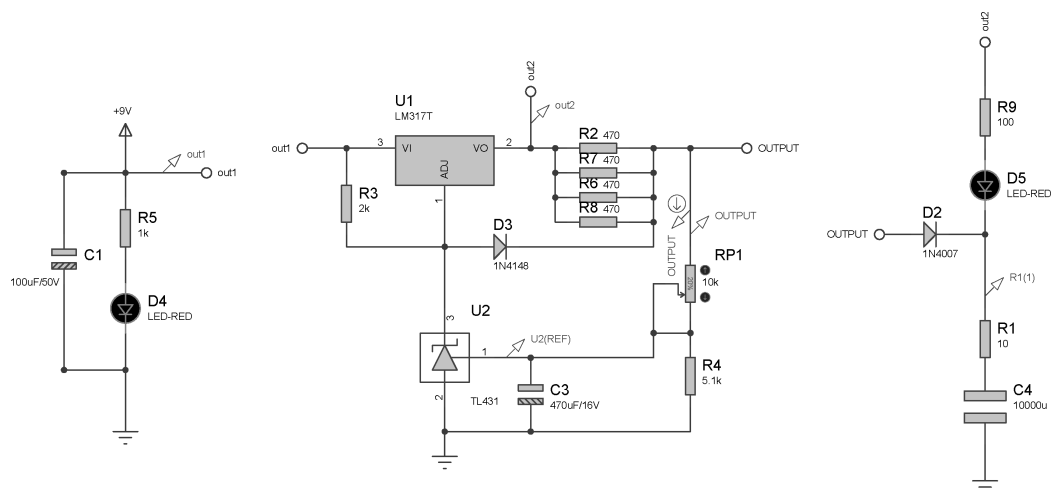


图 11-19 整体电路原理图

经过对电路板的实际测试，测试结果显示输出恒定电压为  $2.49 \sim 7.15V$  可调，恒定电流为  $500\mu A$ ，设计要求电路输出恒定电压为  $2.5 \sim 7.4V$ 、恒定电流为  $500\mu A$ ，实测

基本符合要求。



## PCB 版图（见图 11-20）

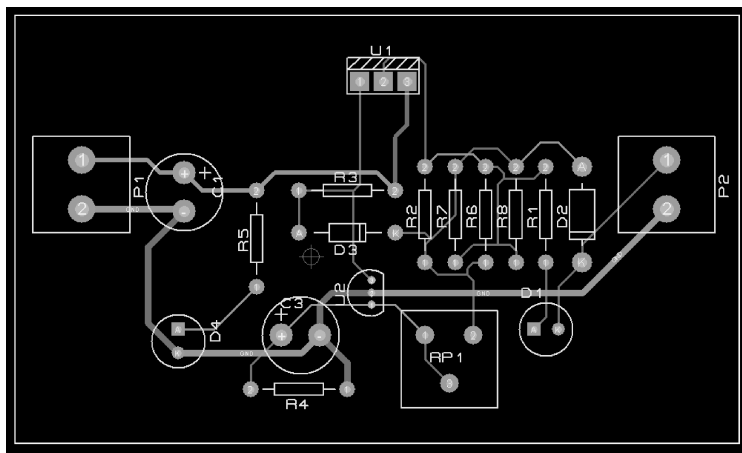


图 11-20 PCB 版图



## 实物测试（见图 11-21、图 11-22）

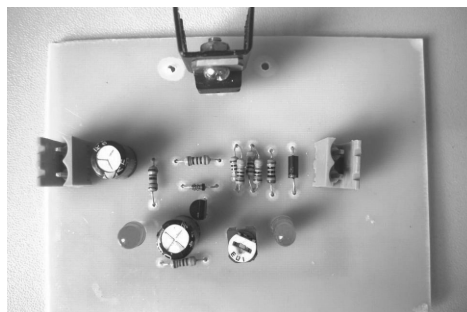


图 11-21 恒功率充电电路实物图

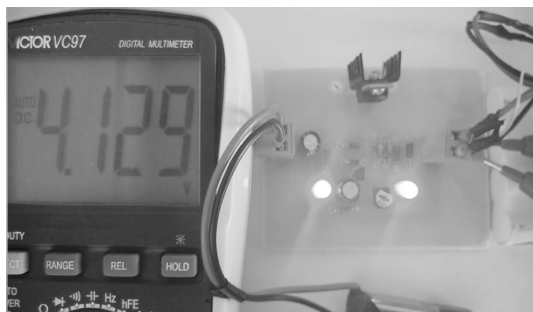


图 11-22 恒功率充电电路测试图



## 项目总结

本项目设计要求一个恒功率，设计一个简单的固定式恒功率充电电路，通过前置电路和稳压电路得到输出为 2.5 ~ 7.4V 调节电压，充电电流约为 25mA，LED 指示灯反映充电情况。利用 LM317 与 TL431 实现对充电电池的恒定电流、恒定电压充电。经过对电路板的仿真测试，测试结果显示输出恒定电压为 2.49 ~ 7.15V 可调，恒定电流 500 $\mu$ A，设计要求电路输出恒定电压为 2.5 ~ 7.4V、恒定电流为 500 $\mu$ A，基本符合要求。



## 思考与练习

(1) 为什么采用 LM317? 除了采用 LM317 还可以用什么? 用哪个更好?

答: LM317 是可调三端正电压稳压器, 在输出电压范围为  $1.2 \sim 37\text{V}$  时能够提供超过  $1.5\text{A}$  的电流。除了采用 LM317 外, 还可以采用 7805。两种电路构成一致, 但恒流效果 LM317 更好, 前者是固定输出稳压 IC, 后者是可调输出稳压 IC, 两种芯片的售价又相近, 采用 LM317 才更为合理。

(2) 恒功率充电电路的工作原理及如何使功率变为恒定?

答: 在主芯片 LM317 稳压器的作用下, 输出稳定的电压, 但这个电压是通过它的外围电路的可调电阻来调节电压, 然后输出稳压稳流的。恒功率理解为只要输出得到的是一定的电压和一定的电流就认为功率是恒定的。

(3) 电路中电解电容和二极管的作用是什么?

答: 电路中电解电容的作用是滤波和耦合作用; 在电路短路时会产生较大的电流, 为了避免造成元器件的损坏, 因此应选 1N4007 系列的二极管。



## 特别提醒

充电时不能有太大的电压以免烧坏电路; 电路板不能放在潮湿的地方, 应放在通风干燥处。

## 项目 12 可调式恒流源电路设计

恒流源是一种能向负载提供恒定电流的电源装置，它在外界电网电源产生波动和阻抗特性发生变化时仍能使输出电流保持恒定。恒流源电路具有输出电流恒定、温度稳定性好、直流电阻很小但等效交流输出电阻却很大等特点。它既可以为各种放大电路提供偏流以稳定其静态工作点，又可以作为有源负载提高其放大倍数。



### 设计任务

设计一个简单的可调式恒流源电路，使其输出在  $0.8 \sim 48\text{mA}$  之间可调。



### 基本要求

恒流源输出可调，输出电流不因负载变化而变化。



### 总体思路

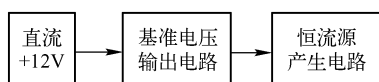
本项目通过 TL431 提供基准电压并利用电位器调节其输出大小。随后将可调的基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用以及变压器输出端之间的关系，来保证恒流源的输出。在设计完成后，对电路是否为恒流输出进行验证。



### 系统组成

可调式恒流源电路整个系统主要分以下两个部分。

⑤ 基准电压输出电路：产生恒流源需要利用一个电压基准，在电阻上形成一定电流，这里利用 TL431 产生基准电压。



⑤ 恒流源产生电路：利用电压跟随器，产生恒定输出电压，稳定电压除以电位器阻值产生可调电流。

图 12-1 系统模块框图

系统模块框图如图 12-1 所示。



## 模块详解

### 1. 基准电压输出电路

基准电压  $V_{REF}$  (2.5V) 由 TL431 产生, 所以当在 REF 端引入输出反馈时, 器件可以通过从阴极到阳极很宽范围的分流, 控制输出电压。这个基准电压由  $R_3$  和  $R_{V1}$  分压后输出设置 out1 点电位, 来调节恒流源所需输出电流。

选取  $R_{V1}$  阻值为  $2k\Omega$  并调整至 50% 处, 基准电压输出电路仿真图如图 12-2 所示。

基准电压输出端 out1 用图表显示, 仿真结果如图 12-3 所示。

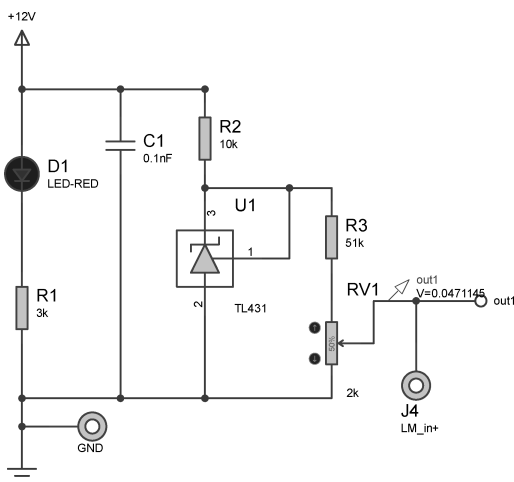


图 12-2  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出电路仿真图

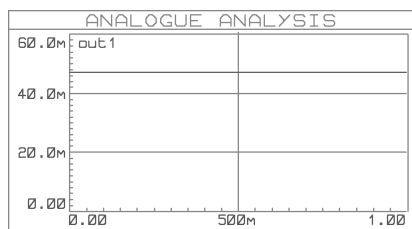


图 12-3  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出波形

如图 12-2 所示,  $R_{V1}$  处于位置 1 时, 可以在基准电压输出电路输出端 out1 得到稳定的直流基准电压, 大小为  $47.1mV$ 。该输出信号由 TL431 输出的  $2.5V$  经  $R_3$  与  $R_{V1}$  分压后得到。

### 2. 恒流源产生电路

基准电压输出电路的输出端 out1 处输出稳定的  $0.047V$  基准电压至运算放大器的输入端。根据虚短关系, LM\_in+ 端的电压与 FB 端电压相等, 电压值为  $47.1mV$ 。则当场效应管导通时, 电流  $I_{out}$  可以根据式 (12-1) 计算。

$$I_{out} = V_{REF}/R_4 \quad (12-1)$$

则输出电流可计算, 大小为  $24.4mA$ 。

恒流源产生电路空载仿真图如图 12-4 所示。

电路中场效应管选择 IRF840, 特点是噪声低、输入阻抗高、开关时间快。典型应用为: 电子镇流器、电子变压器、开关电源等。

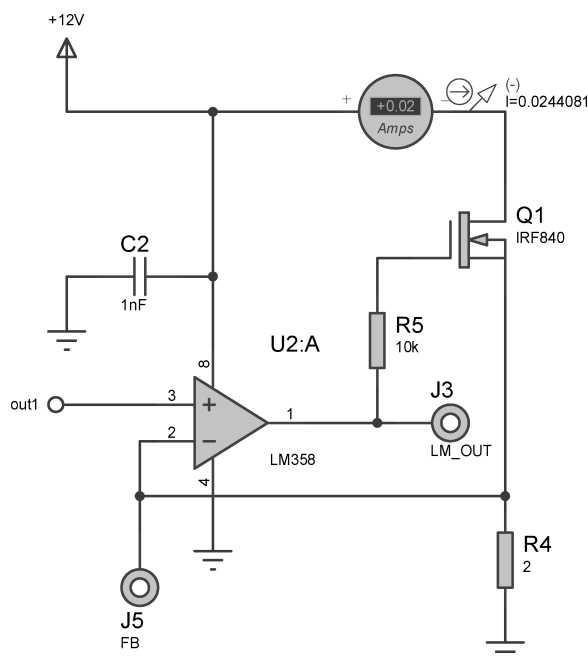


图 12-4  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载仿真图

IRF840 是绝缘栅场效应管中的 N 沟道增强型。绝缘栅场效应管是利用半导体表面的电场效应进行工作的，由于它的栅极处于不导电（绝缘）状态，所以输入电阻大大提高，这为恒流源的输出精度打下了良好的基础。N 沟道增强型的工作条件是：只有当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。

电路空载输出波形如图 12-5 所示。

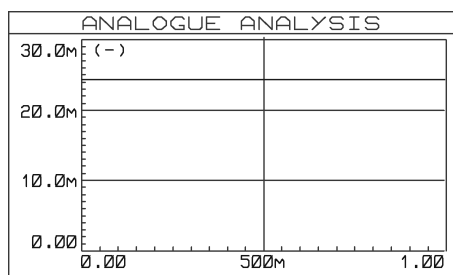


图 12-5  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载输出波形

如图 12-4 所示，当  $R_{V1}$  处于位置 1（50%）时，电路空载输出大小为 24.4mA 的直流电源。将基准电压输出电路中  $R_{V1}$  调整到位置 2（90%），改变  $R_3$  与  $R_{V1}$  的分压比例，此时 out1 当前输出达到 84.8mV 直流电压，如图 12-6 所示。

$R_{V1}$  处于位置 2 时，out1 端基准电压输出电路输出波形如图 12-7 所示。

在  $R_{V1}$  处于位置 2（90%）时，场效应管同样导通，电流  $I_{out}$  可以根据式（12-1）计算，其大小为 43.2mA，电路空载仿真图如图 12-8 所示。

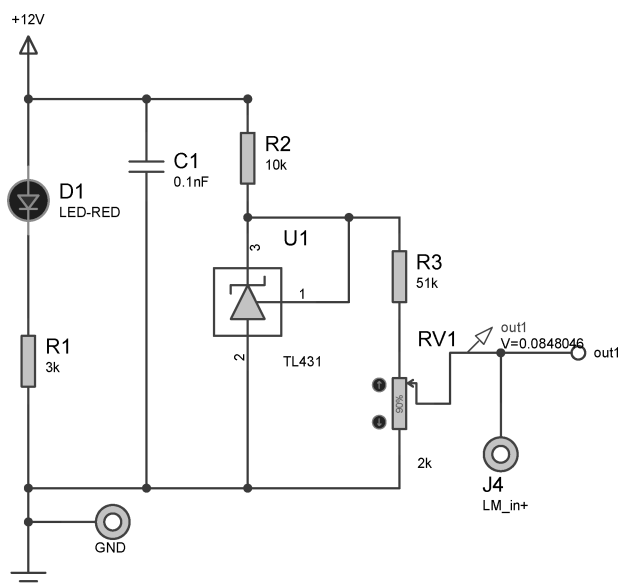


图 12-6  $R_{V1}$  处于位置 2 时基准电压输出电路仿真图

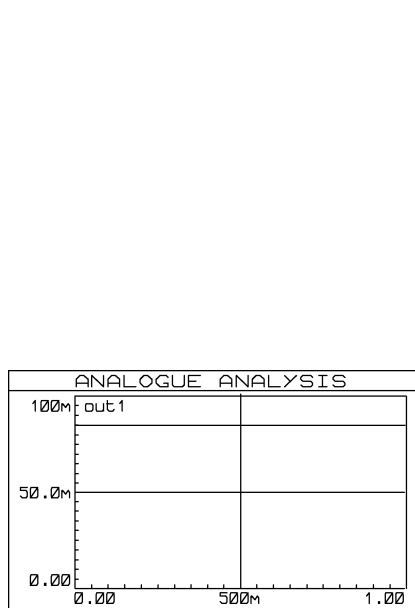


图 12-7  $R_{V1}$  处于位置 2 时基准电压输出电路输出波形

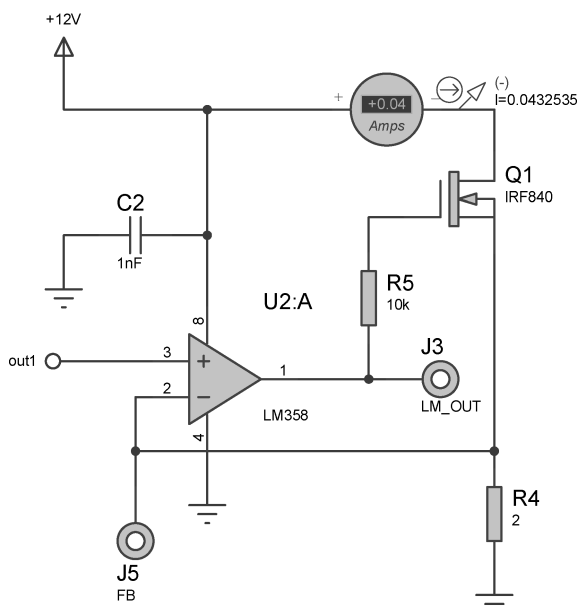


图 12-8  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载仿真图

$R_{V1}$  处于位置 2 恒流空载输出波形如图 12-9 所示。

恒流源空载输出电路原理图如图 12-8 所示，图中为电源电路空载仿真，当前电流输出值为 43.2mA。在恒流输出端加入  $50\Omega$  负载，测试电路加入负载是否能正常工作。从图 12-10 的仿真结果可以看到稳流电源的输出并不会因为加入负载而改变。

加入  $50\Omega$  负载后，可调式恒流源输出波形如图 12-11 所示。

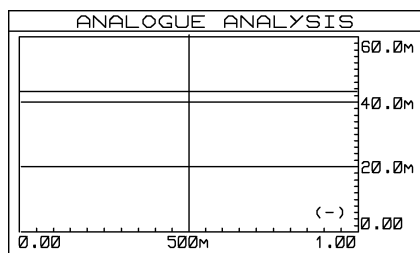


图 12-9  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形

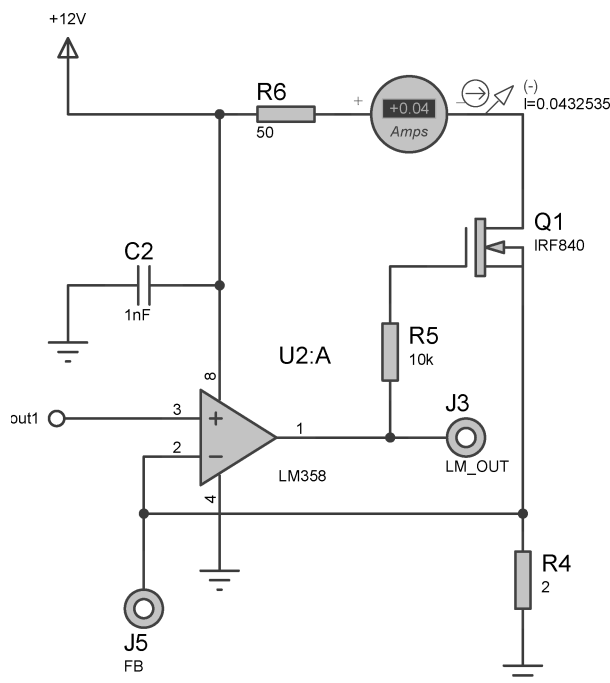


图 12-10 恒流源产生电路加负载仿真（一）

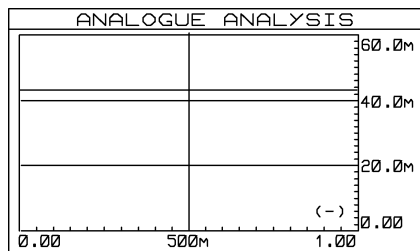


图 12-11 恒流源产生电路加负载输出波形（一）

如图 12-11 所示，在电路加入  $50\Omega$  负载时，测试负载电流输出为  $43.2\text{mA}$ ，与空载时电路输出相同。

再次调整负载大小，将负载调整为  $200\Omega$  电阻，仿真结果如图 12-12 所示。

用图表显示当前恒流输出波形，如图 12-13 所示。



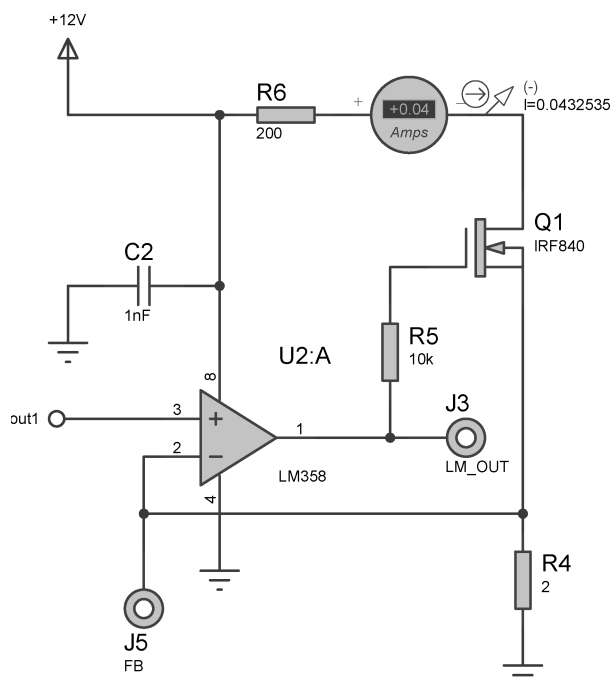


图 12-12 恒流源产生电路加负载仿真（二）

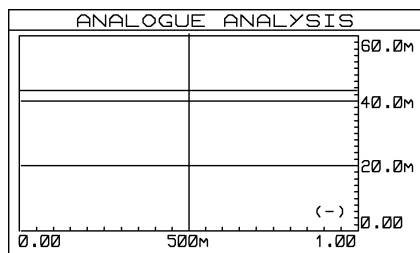


图 12-13 恒流源产生电路加负载输出波形（二）

图 12-13 所示为监视输出电流仿真图，可见稳流电源电路输出值一直稳定在 43.2mA，即电源此时具有较好的稳定性。



#### 注意

同之前固定式稳定电源的设计类似，场效应管的导通条件为当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。所以当负载过大时，由于流过的电流为恒流，会导致栅极电压与漏极电位逐渐相等，最终导致场效应管截止。此时则不会输出稳定恒流。

可调式恒流源电路的整体电路原理图如图 12-14 所示。

对电路板进行实际测试，调节电位器，测试电流输出为 0.79 ~ 49.3mA，设计要求输出电流 0.8 ~ 48mA，实测基本符合设计要求。

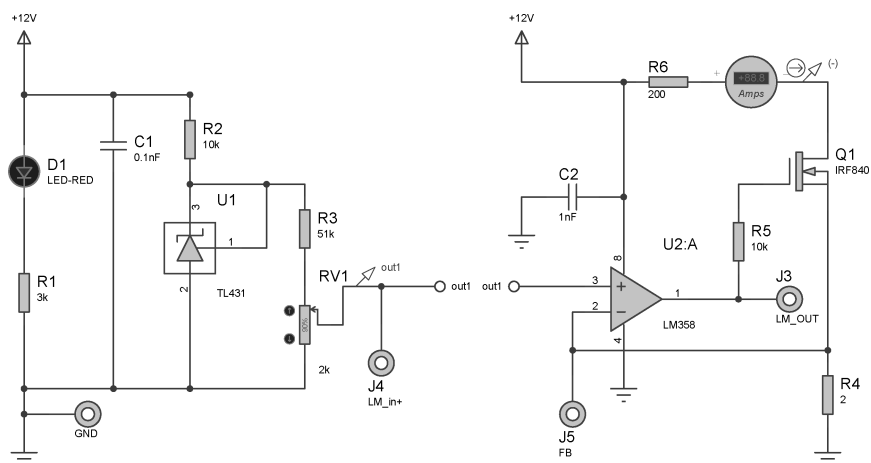


图 12-14 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 12-15)

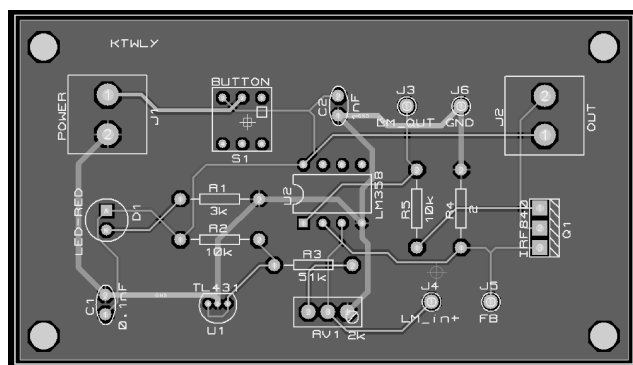


图 12-15 PCB 版图



实物测试 (见图 12-16、图 12-17)

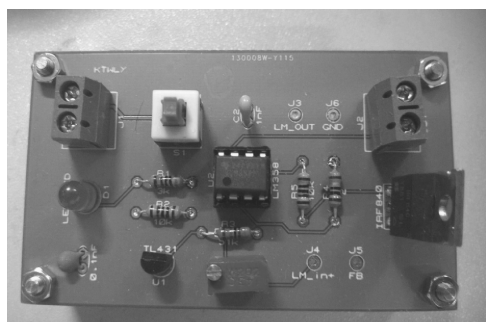


图 12-16 可调式恒流源电路实物图

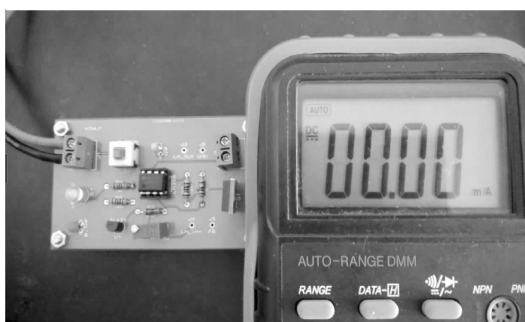


图 12-17 可调式恒流源电路测试图



## 项目总结

本项目是设计一个可调式恒流源，使其输出  $0.8 \sim 48\text{mA}$  的恒定电流。整个系统主要由基准电压输出电路与恒流源产生电路组成。为了验证本项目设计可输出恒定电流，应在电路空载仿真成功的基础上，对电路输出端接入不同负载进行测试。仿真测试结果显示，输出电流不随负载变化而变化，符合设计要求。



## 思考与练习

(1) 如何验证电路是否为稳流电源电路？

**答：**在输出端串联不同的负载（如串联电位器或不同阻值的电阻）来实现。观察当负载变化时，负载两端电流是否保持不变。若输出电流保持不变，则说明该电路为稳流电源电路。

(2) 在可调式恒流源电路中对于输入级器件有什么要求？

**答：**输入级需要恒压源，可以采用具有电压饱和伏安特性的器件作为输入级。一般的PN结二极管就具有这种特性——指数式上升的伏安特性。

## 项目 13 交流稳压电源电路设计

交流信号是电流的方向会发生变化的信号，直流信号是电流方向不发生变化的信号，这里说的是方向的变化不是大小的变化。在医疗电路中，生物阻抗的测量是使用置于体表的电极或电极系统向被测对象注入微小的交流测量电流，检测相应的电阻抗及其变化情况，所以要求交流信号电流足够小，不会对人体产生危害，并且幅值恒定。



### 设计任务

设计一个简单适用于医疗电路的交流稳压电源，使其输出 50Hz 的稳压交流电压。



### 基本要求

- ☺ 能够提供交流稳压信号。
- ☺ 输出电流小，适用于生物阻抗的测量。



### 总体思路

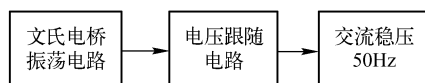
交流稳压电源是能为负载提供稳定交流电源的电子装置，又称交流稳压器。各种电子设备要求有比较稳定的交流电源供电，特别是当计算机技术应用到各个领域后，采用由交流电网直接供电而不采取任何措施的方式已不能满足需要。利用振荡电路产生正弦 50Hz 交流信号，利用电压跟随器使交流信号稳幅，不随负载变化而受到影响。



### 系统组成

交流稳压电源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☺ 文氏电桥振荡电路：利用文氏电桥振荡电路产生 50Hz 的交流信号，产生所需要的交流电压。



- ☺ 电压跟随电路：将产生的交流信号稳压，不随负载变化而产生变化。

图 13-1 系统模块框图

系统模块框图如图 13-1 所示。



## 模块详解

### 1. 文氏电桥振荡电路

文氏电桥振荡电路产生一定频率、一定幅度、恒定的正弦电流。正弦波振荡电路是在没有外加输入信号的情况下，依靠自激振荡而产生正弦波输出电压的电路。在正弦波振荡电路中，一要反馈信号能够取代输入信号，而若要如此，电路中必须引入正反馈；二要有外加的选频网络，用以确定振荡频率。所以正弦波振荡电路的组成包括放大电路、选频网络、正反馈网络和稳幅环节。放大电路能够保证电路从起振到动态平衡的过程，使电路获得一定幅值的输出量，实现能量的控制。选频网络能够确定电路的振荡频率，使电路产生单一频率的振荡，即保证电路产生正弦波振荡。正反馈网络的引入使放大电路的输入信号等于反馈信号。稳幅环节也就是非线性环节，作用是使输出信号幅值稳定。

文氏电桥振荡电路原理图如图 13-2 所示。

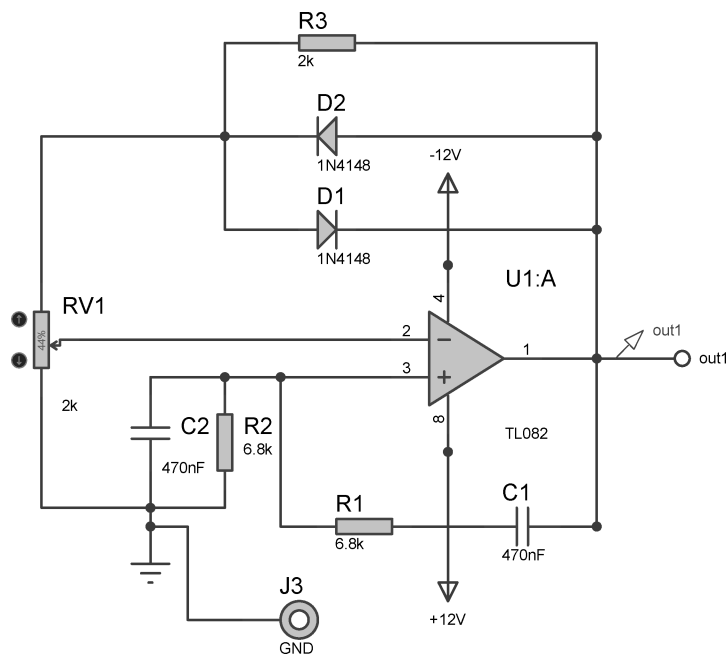


图 13-2 文氏电桥振荡电路原理图

调整  $R_{V1}$  处于位置 1 (44%)，文氏电桥振荡电路仿真图如图 13-3 所示。

常将选频网络和正反馈网络合二为一，这里利用电流增大时二极管动态电阻小、电流减小时二极管动态电阻增大的特点，将两个并联的二极管再与反馈电阻串联，构成稳幅环节，比例系数为

$$A_v = 1 + \frac{R_f + r_d}{R} \quad (13-1)$$

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  构成 RC 串并联选频网络。其中  $R_1 = R_2 = R$ ； $C_1 = C_2 = C$ ；由于设计

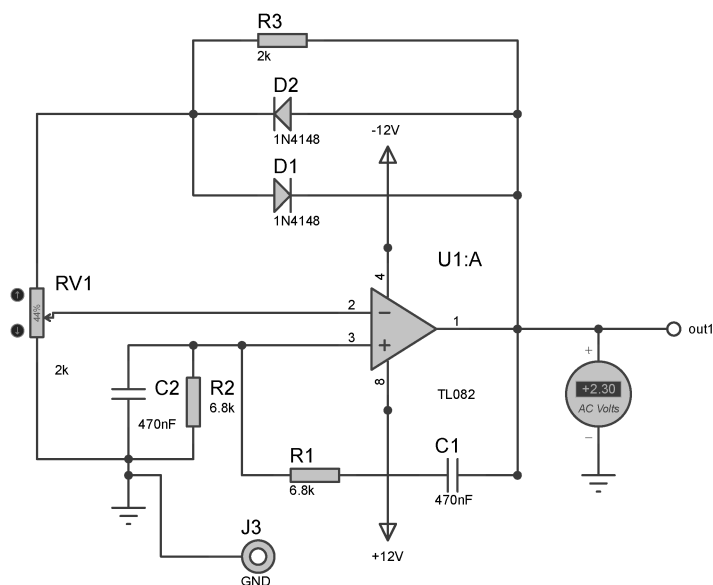


图 13-3  $R_{V1}$  处于位置 1 时文氏电桥振荡电路仿真图

要求振荡频率为 50Hz，则有

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 50\text{Hz} \quad (13-2)$$

$RC = 3.18 \times 10^{-3}$ ；取  $C = 470\text{nF}$ ，则根据上式有  $R \approx 6.8\text{k}\Omega$ 。

$R_3$ 、 $D_1$ 、 $D_2$  构成反馈网络和稳幅网络，稳幅系数为

$$A_v = \frac{ATM1 + R_3}{ATM2} \geq 3 \quad (13-3)$$

式中， $R_{V1} = ATM1 + ATM2$ ， $R_{V1} = 2\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 2\text{k}\Omega$ 。所以可以通过调节  $R_{V1}$  起到调节  $A_v$  的作用。

这里用示波器显示此时文氏电桥振荡电路输出端 out1 处的输出结果，如图 13-4 所示。

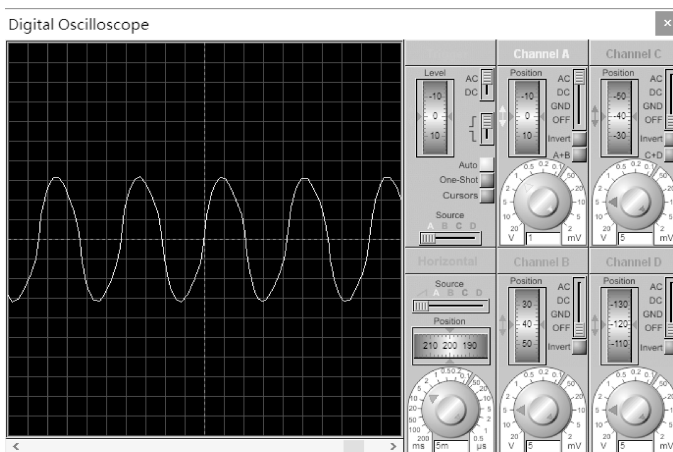


图 13-4  $R_{V1}$  处于位置 1 文氏电桥振荡电路输出仿真

$R_{V1}$ 处于位置 1 时，电源空载输出正弦信号，其有效值为 +10.1V，频率为 50Hz。

## 2. 电压跟随电路

在电路中，电压跟随器一般做缓冲级（buffer）及隔离级。因为，电压放大器的输出阻抗一般比较高，通常在几千欧到几十千欧，如果后级的输入阻抗比较小，那么信号就会有相当的部分损耗在前级的输出电阻中。在这个时候，就需要电压跟随器进行缓冲，起到承上启下的作用。电压跟随电路原理图如图 13-5 所示。

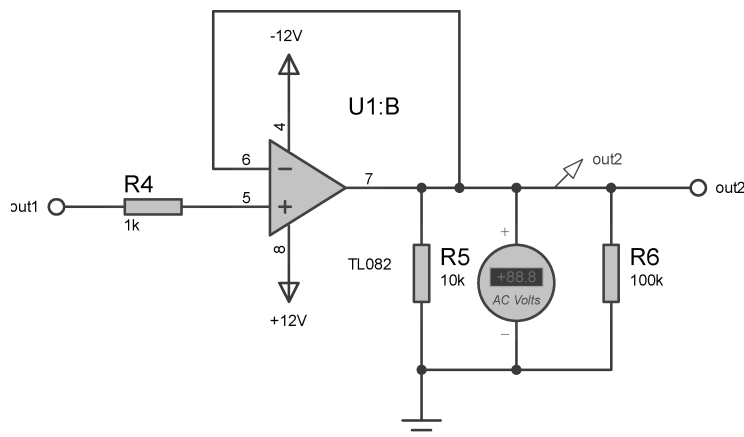


图 13-5 电压跟随电路原理图

电路中运算放大器均采用 TL082 集成运放。TL082 是一种通用的 J-FET 双运算放大器。其特点是：较低的输入偏置电压和偏移电流；输出设有短路保护；内建频率补偿电路。

当  $R_{V1}$ 处于位置 1（44%）时，电压跟随电路仿真图如图 13-6 所示。

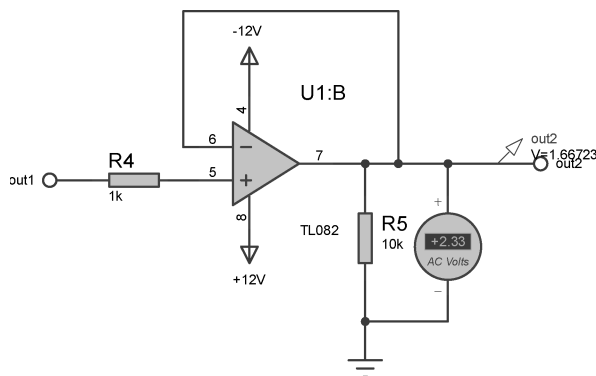


图 13-6  $R_{V1}$ 处于位置 1 时电压跟随电路仿真图

在电路输出端 out2 处选取交流电压表来测量当前电路输出有效值，测得有效值大小为 +2.33V。如图 13-7 所示为电压跟随电路输出波形。可见，通过电压跟随电路，可将上级信号跟随输出。此时调节上级振荡电路中  $R_{V1}$ 至位置 2（16%），仿真图如图 13-8 所示。

当  $R_{V1}$ 处于位置 2（16%）时，文氏电桥振荡电路输出端 out1 处输出波形如图 13-9 所示。





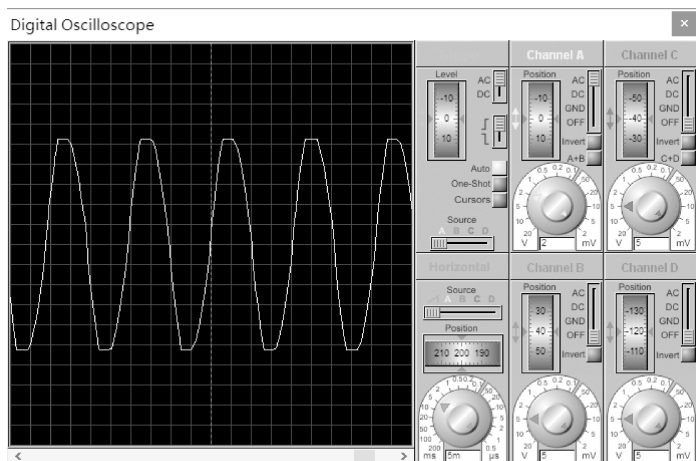


图 13-9  $R_{V1}$  处于位置 2 时文氏电桥振荡电路输出波形

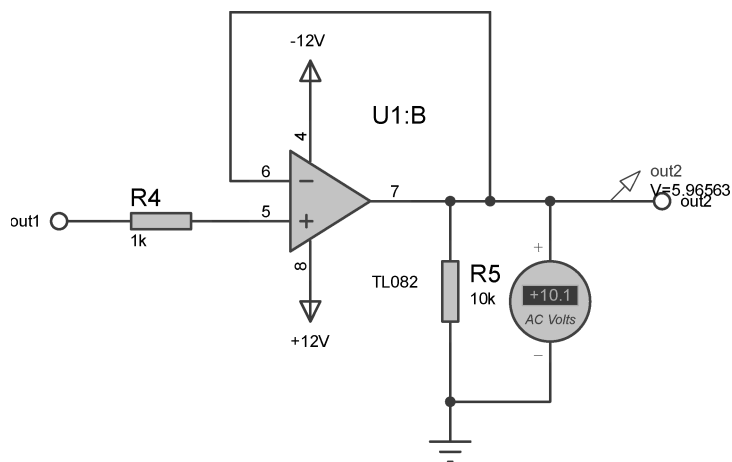


图 13-10  $R_{V1}$  处于位置 2 时电压跟随电路仿真图

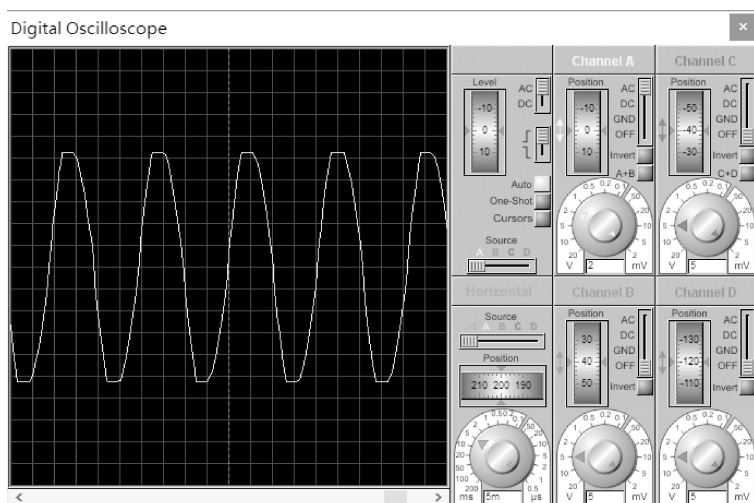


图 13-11  $R_{V1}$  处于位置 2 时电压跟随电路输出波形

电源输出端添加 10kΩ 负载后，电源输出为有效值为 +10.1V，频率为 50Hz，与空载输出信号一致，满足稳压设计指标。

在电路输出端 out2 处接入 100kΩ 负载测试，仿真结果如图 13-14 所示。

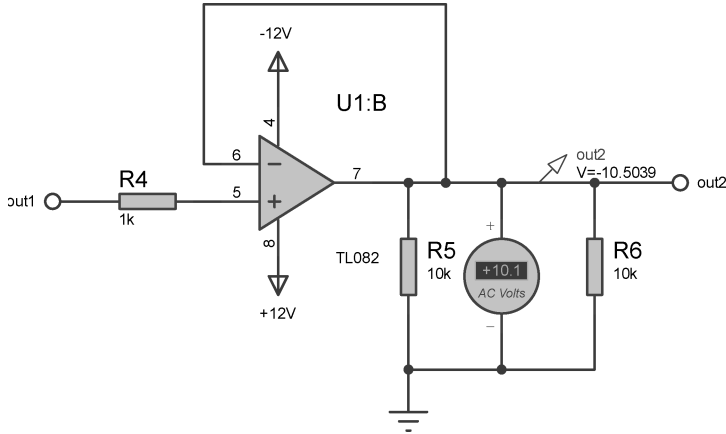


图 13-12 加负载后电源输出仿真结果（一）

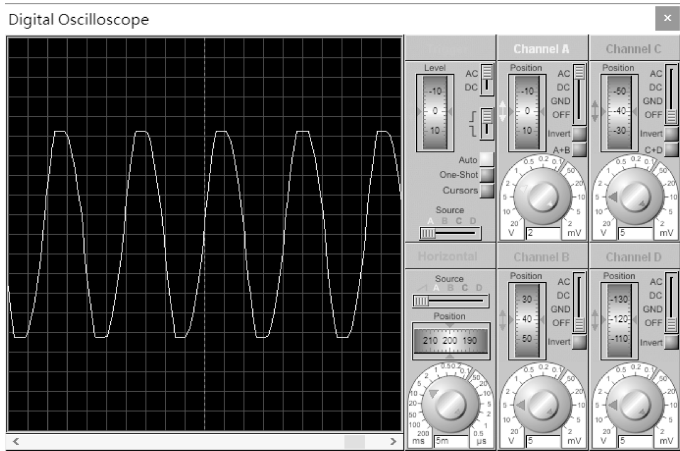


图 13-13 加负载后电源输出波形（一）

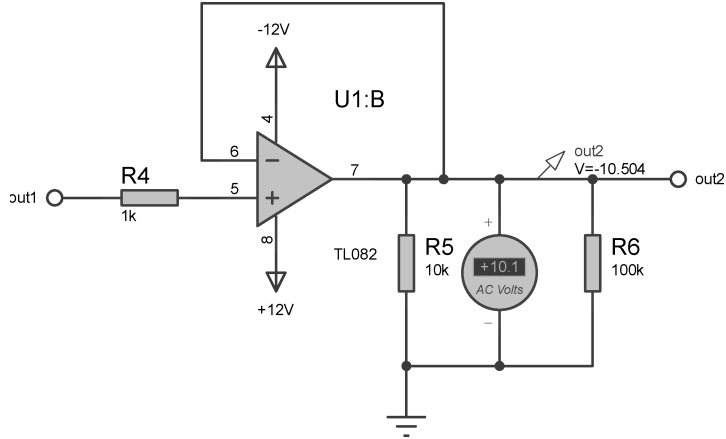


图 13-14 加负载后电源输出仿真结果（二）

接入 100k $\Omega$  负载后 out2 处输出波形如图 13-15 所示。

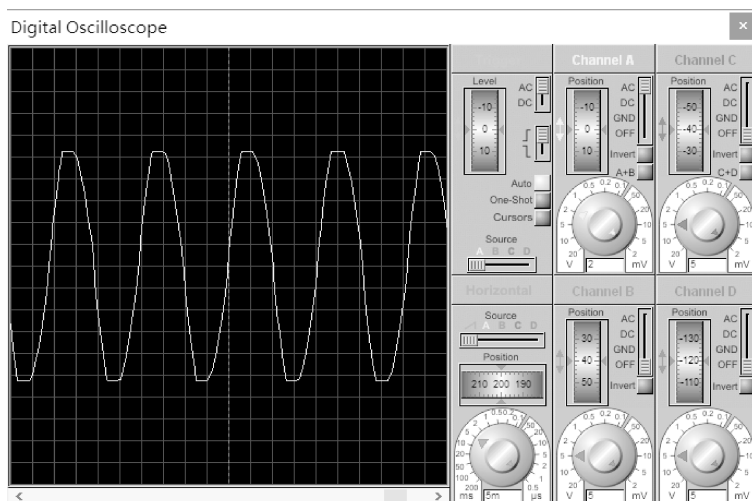


图 13-15 加负载后电源输出波形（二）

对电源输出端添加 100k $\Omega$  负载后，电源输出为 +10.1V，与之前的空载与加 10k $\Omega$  负载测试几乎相等，故本项目中交流稳压电源为稳压电源。

综上所述，本项目设计的交流稳压电源通过输出正弦波形，再通过电压跟随器进行缓冲，最终得到可调的稳定的 50Hz 交流信号。此外，在仿真完毕后，将电路输出端加入不同负载对比测试，最终结果显示满足设计要求。

交流稳压电源电路整体电路原理图如图 13-16 所示。

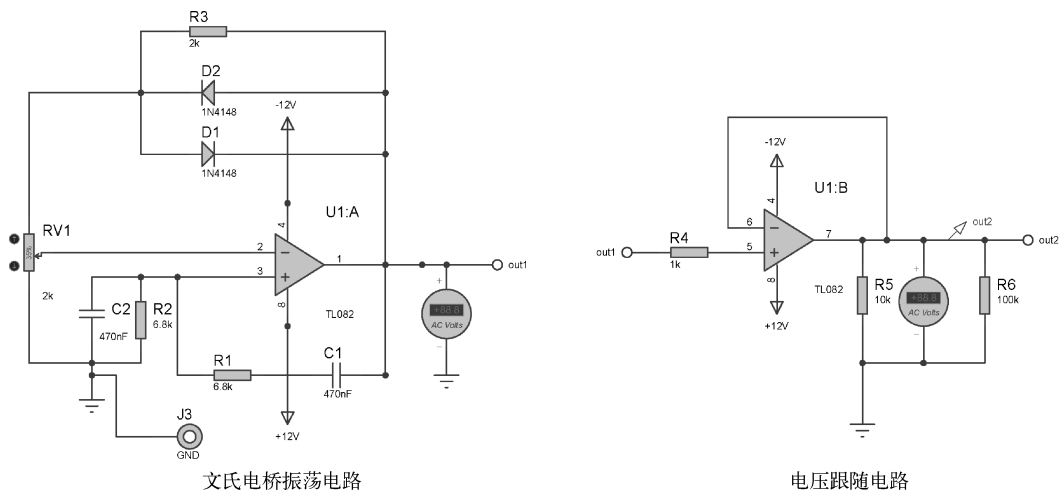


图 13-16 整体电路原理图

经过对电路板的实际测试，测试示波器显示输出稳定的正弦波交流信号，幅值在 1.27 ~ 18.3V 之间可调，频率为 49.3Hz，负载可以从 41.2 $\Omega$  到数兆欧，实测符合设计要求。



## PCB 版图（见图 13-17）

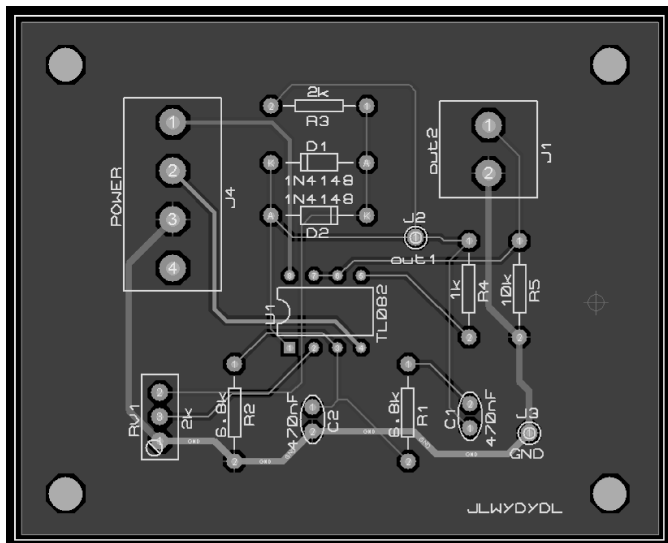


图 13-17 PCB 版图



## 实物测试（见图 13-18、图 13-19）

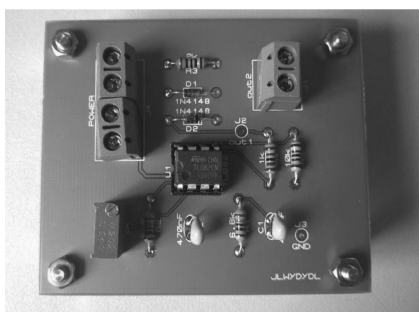


图 13-18 交流稳压电源电路实物图

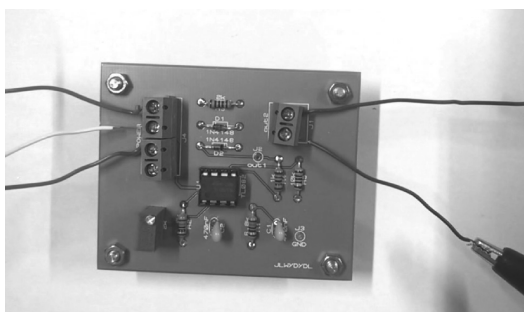


图 13-19 交流稳压电源电路测试图



## 项目总结

本项目是设计一个简单的适用于医疗电路的交流稳压电源，使其输出 50Hz 的稳压交流电压。交流稳压电源是能为负载提供稳定交流电源的电子装置，又称交流稳压器。各种

电子设备要求有比较稳定的交流电源供电，特别是当计算机技术应用到各个领域后，采用由交流电网直接供电而不采取任何措施的方式已不能满足需要。利用振荡电路产生正弦 50Hz 交流信号，利用电压跟随器使交流信号稳幅，不随负载变化而受到影响。本项目设计的交流稳压电源通过输出正弦波形，再通过电压跟随器进行缓冲，最终得到可调的稳定的 50Hz 交流信号。此外，在仿真完后将电路输出端加入不同负载对比测试，最终结果显示本设计满足稳压电源的要求。



## 思考与练习

(1) 文氏电桥振荡电路的起振条件和稳幅原理是什么？

**答：**振荡器在刚刚起振时，为了克服电路中的损耗，需要正反馈强一些，这称为起振条件。由于起振后就要产生增幅振荡，需要靠三极管的非线性特性去限制幅度的增加，这个过程称为稳幅。

(2) 电路中电压跟随器的作用是什么？

**答：**①提高带负载能力：集电极放大电路的输入高阻抗、输出低阻抗的特性，使得它在电路中可以起到阻抗匹配的作用，能够使得后一级的放大电路更好地工作。②隔离作用：电压隔离器的输出电压近似输入电压幅度，并对前级电路呈高阻状态，对后级电路呈低阻态，因而对前后级电路起到隔离作用。③缓冲作用：电压放大器的输出阻抗一般比较高，通常在几千欧到几十千欧，如果后级的输入阻抗比较小，那么信号就会有相当的部分损耗在前级的输出电阻中。这时，就需要电压跟随器来从中进行缓冲，起到承上启下的作用。

(3) 如何验证设计电路是否满足设计要求，产生交流稳压电源？

**答：**利用 Proteus 软件对电路进行仿真，用示波器和图表观察输出电压波形，通过改变负载电阻观察得到交流电压的波形是否失真，以此验证电路是否满足设计要求。



## 特别提醒

上电后首先调节电位器，直到满足起振条件并有波形输出后再进行观察。

## 项目 14 固定式恒流源充电电路设计

基本的恒流源电路主要由输入级和输出级构成，输入级提供参考电流，输出级输出需要的恒定电流。恒流源电路就是要能够提供一个稳定的电流以保证其他电路稳定工作，即要求恒流源电路输出恒定电流，因此作为输出级的器件应该具有饱和输出电流的伏安特性。如今，电流维持在恒定值的充电方法已被广泛使用。蓄电池的初充电、运行中蓄电池的容量检查、运行中牵引蓄电池的充电以及蓄电池极板的化成充电，多采用恒流或分阶段恒流充电。此法的优点是可以根据蓄电池的容量确定充电电流值，直接计算充电量并确定充电完成的时间。本项目是设计一个恒流输出电路给电池充电，使得在输入电压为  $8 \sim 36\text{V}$  的情况下，使用 LM317 使电流变为恒流输出，为电池充电。



### 设计任务

设计一个简单的固定式恒流源充电电路，在一定的电压范围内实现对充电电池的恒定电流充电。



### 基本要求

在输入电压源为  $12\text{V}$  时，固定式恒流源充电电路应满足如下要求：

选择适当  $R_2$  值，使充电电流为  $300\mu\text{A}$ 。当电池达到规定的充电电压  $12\text{V}$  时， $\text{VT}_1$  管截止，LED 熄灭。



### 总体思路

恒流源的实质是利用器件对电流进行反馈，动态调节设备的供电状态，从而使得电流趋于恒定。只要能够得到电流，就可以有效形成反馈，从而建立恒流源。再用三极管、LED 等构成充电指示电路，反映电池的充电情况。



### 系统组成

固定式恒流源充电电路整个系统主要分以下三个部分。

- ☺ 稳压电路：为充电电路提供稳定的电压。
- ☺ 恒流值充电电路：实现恒流充电。
- ☺ 充电指示电路：指示充电的情况。

系统模块框图如图 14-1 所示。

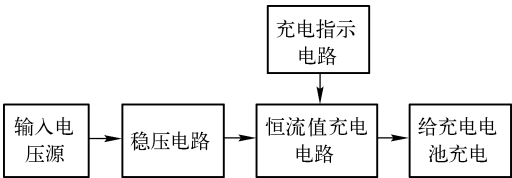


图 14-1 系统模块框图

## 模块详解

### 1. 稳压电路

利用 LM317 构成稳压电路，其输出电压范围为 1.25 ~ 37V，负载电流最大为 1.5A。它的使用非常简单，仅需两个外接电阻来设置输出电压。LM317 内置有过载保护、安全区保护等多种保护电路。通常 LM317 不需要外接电容，除非输入滤波电容到 LM317 输入端的连线超过 6in (15cm)。使用输出电容能改变瞬态响应。调整端使用滤波电容能得到比标准三端稳压器高得多的纹波抑制比。LM317 有许多特殊的用法，如把调整端悬浮到一个较高的电压上，可以用来调节高达数百伏的电压，只要输入输出压差不超过 LM317 的极限就行，当然还要避免输出端短路。恒流源充电电路如图 14-2 所示。

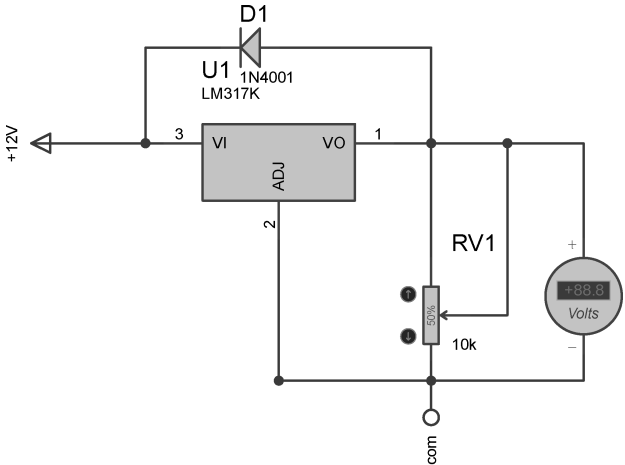


图 14-2 恒流源充电电路

输出的恒流电流  $I_{in}$  为

$$I_{in} = V_{12}/R_2 \tag{14-1}$$

式中， $V_{12}$  为稳压器 1, 2 脚间电压差； $R_2$  为变阻器连入电路的当前阻值。

稳压和恒流充电效果如图 14-3 所示，可以看出恒压差输出端的恒定输出电流为 0.25mA（由于稳压器的 1，2 脚输出电压差恒为 1.25V，变阻器  $R_2$  取值 10k $\Omega$ ）。实际使用时， $R_2$  常用 10k $\Omega$  电阻。这里取  $R_2$  接入阻值为 5k $\Omega$  时，电池的充电电流约为 300 $\mu$ A。

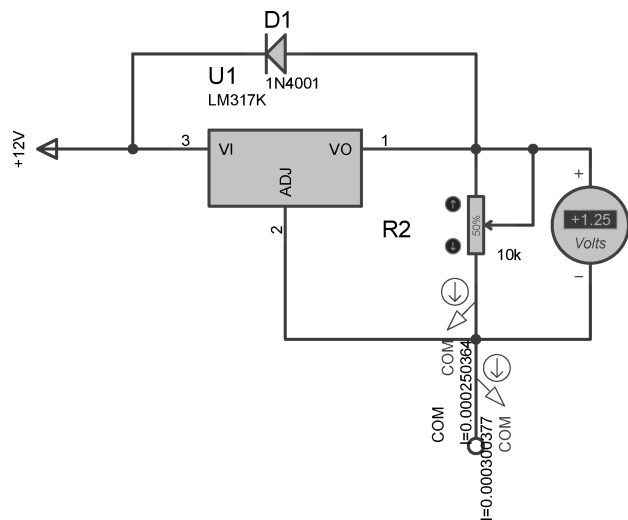


图 14-3 恒流源充电电路仿真结果

用图表记录当前输出恒流，结果如图 14-4 所示。图中下方浅色线为 LM317 的 1 脚与 2 脚间输出恒流，大小为 250 $\mu$ A；上方深色线为充电电路中输入恒流，大小为 300 $\mu$ A。

### 2. 恒流值充电电路

图 14-3 中  $D_1$ 、图 14-5 中  $D_2$  是两个 1N4001 二极管。这里如前所述，令图 14-3 中  $R_2$  取 5k $\Omega$  时，电池的充电电流约为 300 $\mu$ A。恒流值充电电路如图 14-5 所示。

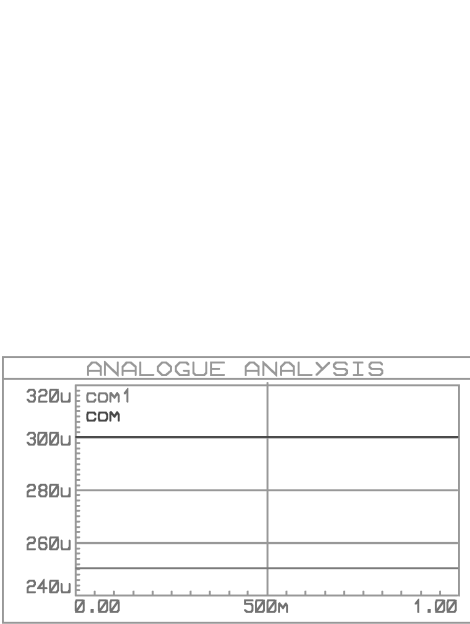


图 14-4 恒流输出仿真

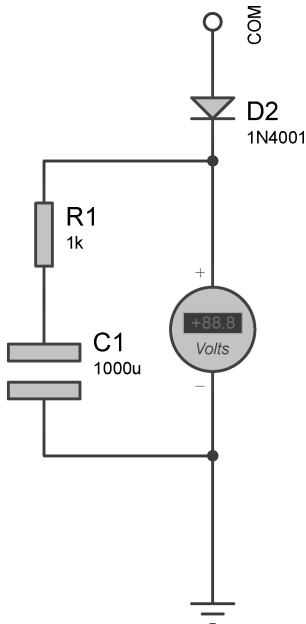


图 14-5 恒流值充电电路



充电初始时仿真结果如图 14-6 所示，其中充电指示灯亮。随着恒流充电时间的增加，充电电池两端的电荷增多，COM 端电压升高，同时由于三极管基极电流减小，集电极电流减小，电源指示灯亮度变暗，如图 14-7 所示。

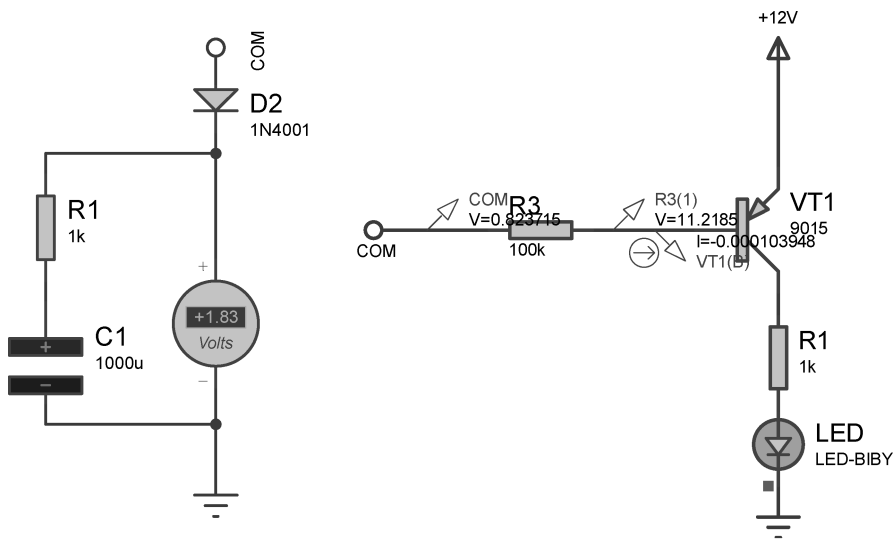


图 14-6 恒流值充电电路仿真结果

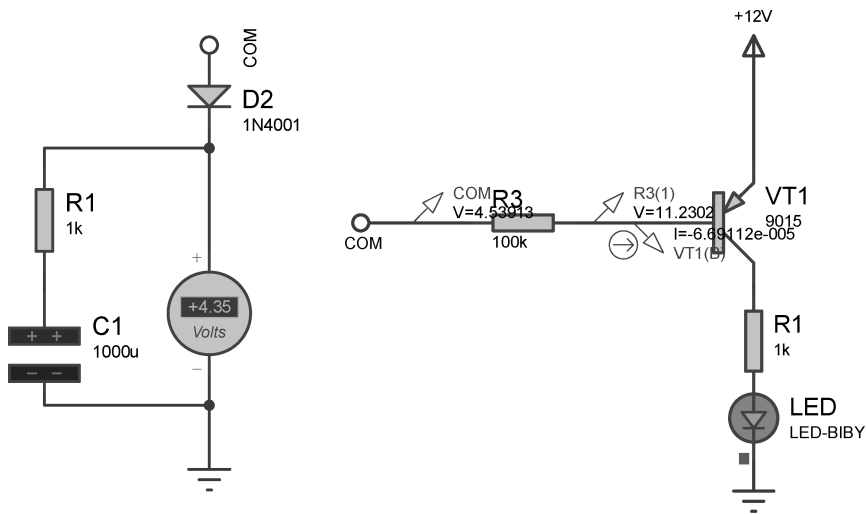


图 14-7 恒流值充电过程仿真（一）

当充电结束时，电源指示灯灭，此时达到恒流充电的最大电压值，仿真结果如图 14-8所示。如果继续充电下去，将不是恒流充电，因为稳压器的 1，2 脚压差不再为恒定的 1.25V。

充电过程中，恒流输出波形如图 14-9 所示。

若继续充电，稳压器输出端的电压仿真如图 14-10 所示，可以看到稳压器 1，2 脚之间电压在逐渐减小。

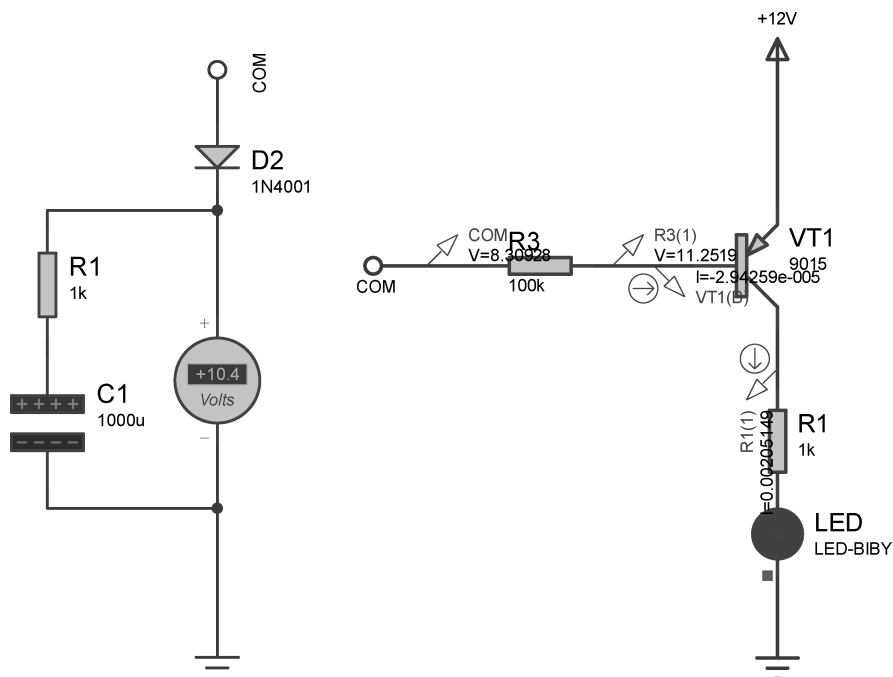


图 14-8 恒流值充电过程仿真（二）

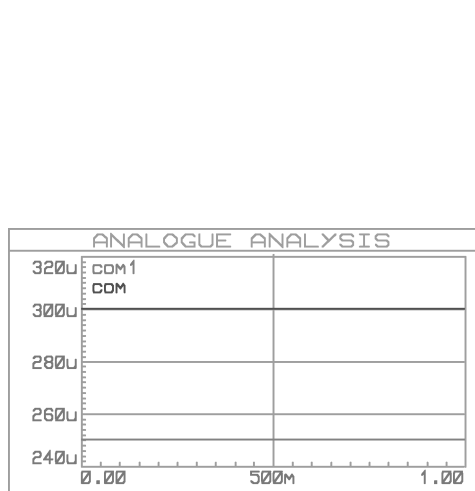


图 14-9 恒流值充电输出波形

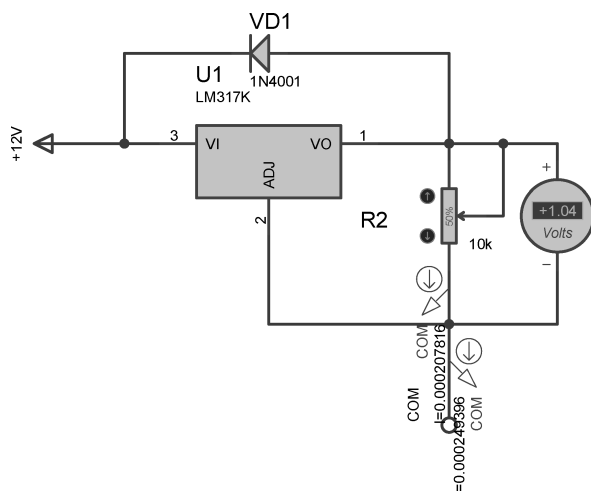


图 14-10 恒流值充电完成仿真

将电池内阻  $R_1$  调整为  $10k\Omega$ ，充电过程仿真如图 14-11 所示。

调整负载后恒流值充电输出波形如图 14-12 所示。

根据上述仿真可知，本项目所设计的恒流源充电电路可稳定达到  $300\mu A$  电流输出；如将负载从  $1k\Omega$  变为  $10k\Omega$ ，输出仍保持  $300\mu A$ ，满足设计指标。

### 3. 充电指示电路

电阻  $R_1$  和 LED 组成了充电指示电路，若选择适当  $R_3$  值，当电池达到规定的充电电压时， $R_3$  两端电压很小，即流过电流  $I_b$  很小，此时  $VT_1$  管截止， $I_c$  几乎为 0，LED 熄灭。充

电完成指示电路原理图如图 14-13 所示。

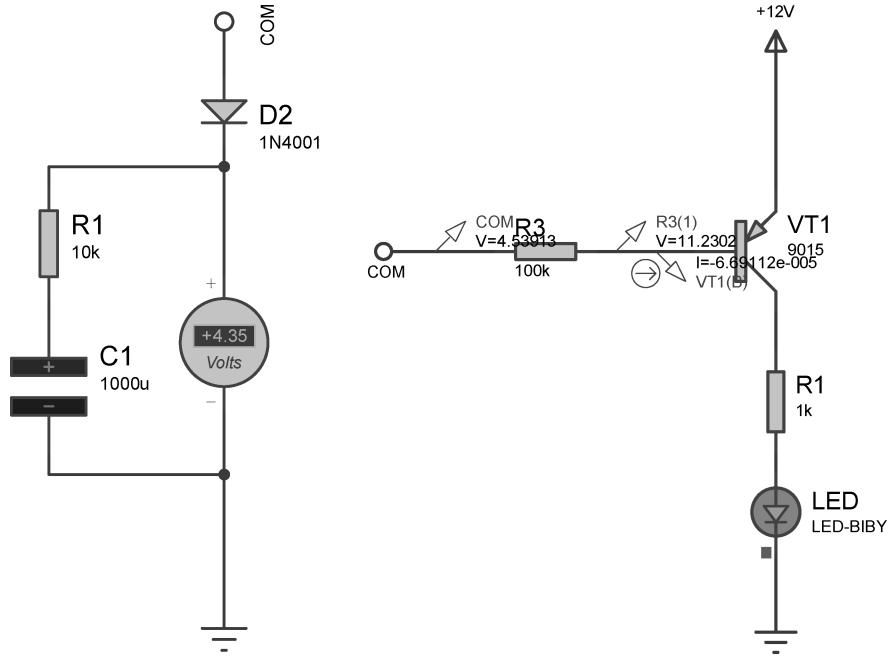


图 14-11 调整负载后恒流值充电仿真

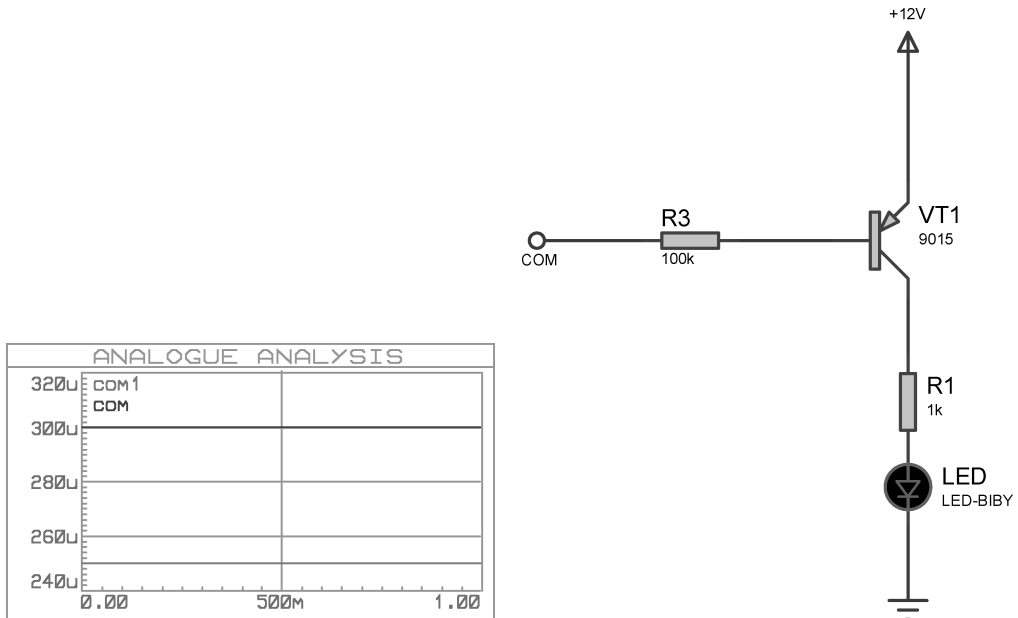


图 14-12 调整负载后恒流值充电输出波形

图 14-13 充电完成指示电路原理图

整体电路原理图如图 14-14 所示。

经过测试，输入 12V 电压， $R_2$  为  $8\Omega$  时输出电流值为恒定  $300\mu\text{A}$ 。根据设计要求，实测结果基本符合设计要求。

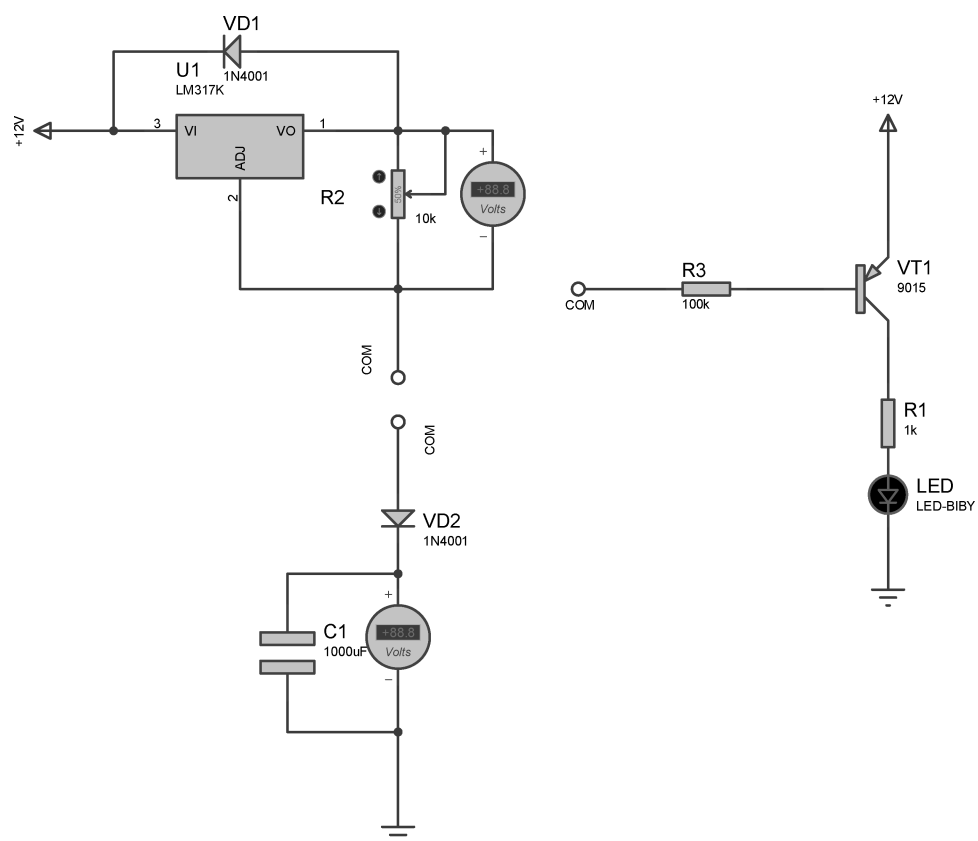


图 14-14 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 14-15)

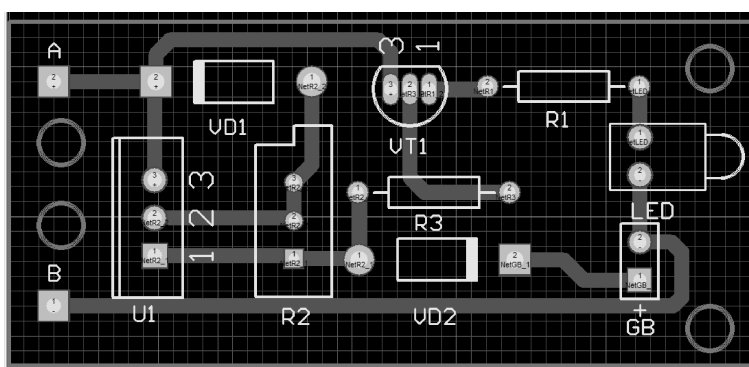


图 14-15 PCB 版图



## 实物测试（见图 14-16、图 14-17）

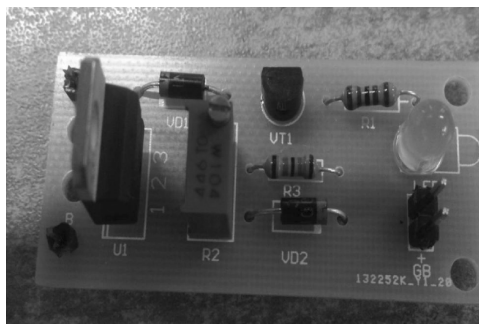


图 14-16 固定式恒流源充电电路实物图

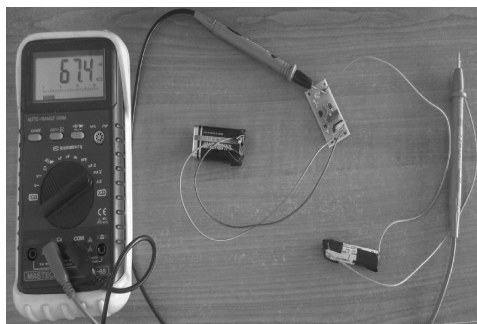


图 14-17 固定式恒流源充电电路测试图



## 思考与练习

(1) 什么是恒流充电？其主要应用有哪些？

答：电流维持在恒定值的充电称为恒流充电，它是一种广泛采用的充电方法。蓄电池的初充电、运行中蓄电池的容量检查、运行中牵引蓄电池的充电以及蓄电池极板的化成充电，多采用恒流或分阶段恒流充电。此法的优点是可以根据蓄电池的容量确定充电电流值，直接计算充电量并确定充电完成的时间。

(2) 电路中二极管的作用是什么？

答：电路中的二极管是保护二极管。在电路短路时会产生较大的电流，为了避免造成元器件的损坏，应选用 1N4000 系列的二极管。



## 特别提醒

(1) 本项目为恒流源充电电路，切勿使用交流充电电源，否则会损坏电路。

(2) 本项目中三极管充当开关与判断作用，根据需要选取 PNP 型三极管。注意不要接入类似封装的 NPN 型三极管，否则会因为极性的不同而导致电路不能正常工作。

(3) 注意稳压管是有极性的，焊接时要注意极性，否则电路功能将出现混乱。

(4) 注意  $R_3$  阻值得选取，本项目中  $R_3$  为  $100\text{k}\Omega$ ，实际应用中应根据待充电源的电压值做微小的调整。

## 项目 15 数控直流稳压电源电路设计

随着科学技术的发展，数控直流稳压电源在人们的工作、科研、生活、学习中扮演的角色越来越重要。在我们使用的电子电路中，多数都需要稳定的直流电源进行供电。直流稳压电源作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。传统的多功能直流稳压电源功能简单、难控制、可靠性低、干扰大、精度低且体积大。本项目所介绍的数控直流稳压电源与传统的稳压电源相比，具有操作方便、电压稳定度高等特点，其输出电压精确可测，主要用于电源精度要求比较高的设备或科研实验。此外，本项目采用可逆计数器、DA 转换等数字技术来实现设计任务，具有制作简易、成本低廉等特点。



### 设计任务

设计一个直流稳压电源电路，并且能通过按键控制电路输出的稳定电压值。



### 基本要求

- ☺ 按下 ADD 键，电源电路输出电压值增加。
- ☺ 按下 DEC 键，电源电路输出电压值减小。
- ☺ 电源电路输出电压值共有 13 个挡位。
- ☺ 可以通过调节电压调整部分的两个电位器来调整 13 个挡位的电压值。



### 总体思路

整个电路采用整流滤波初步稳压电路为后面的处理电路提供稳定电压，采用 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 输出可以随按键触发而加减的 4 位二进制数字量，通过数模转换电路将数字量转换为模拟电压，后续为电压调整电路，包括反相放大电路和反相求和运算电路，将模拟电压值放大调整。如果需要更换电压源的 13 个挡位的输出电压值，可以通过计算调节电压调整电路的电位器达到改变电压挡位的目的。最后为输出稳压电路，设计一个输出可调的稳压电路，使其输出跟随调整后的电压变化，达到稳压电源的设计要求。

## 系统组成

数控直流稳压电源电路整个系统分以下六个部分。

☺ 整流滤波初步稳压电路：为后续各模块电路供电。

☺ 数（字量）控（制）电路：输出可以随按键触发而加减的 4 位二进制数字量。

☺ 数模转换电路：将 74LS193 输出的数字量转换为模拟量，便于后续电压调整电路调整电压。

☺ 反相放大电路：将模拟电压放大 2 倍。

☺ 反相求和运算电路：进一步调整电压值，可以通过计算调节两个电位器的值改变输出电压的挡位值。

☺ 输出稳压电路：使电路的输出随着调整后的电压变化，并且达到了输出稳压的效果。

系统模块框图如图 15-1 所示。

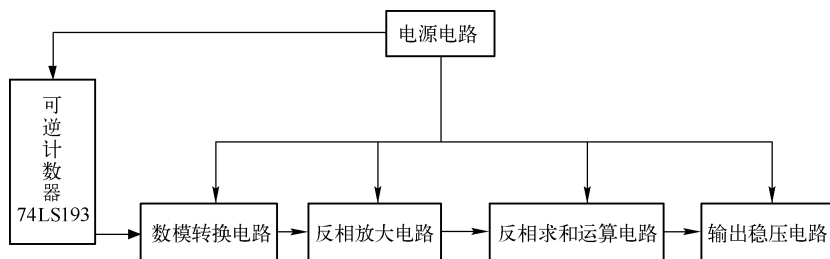


图 15-1 系统模块框图

## 模块详解

### 1. 整流滤波稳压电路

整流滤波稳压电路由带中心抽头的变压器、桥式整流电路、电容滤波电路、三端稳压器 7818、7918、7809、7909、7805 以及滤波电容组成。变压器将市电降压，利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容（1000 $\mu$ F）用于电源滤波，其后并入电解电容（4.7 $\mu$ F）用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容（4.7 $\mu$ F）用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容（0.1 $\mu$ F）用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰。经过滤波后三端稳压器 7818 输出端电压为 +18V，7918 输出端电压为 -18V，7809 输出端电压为 +9V，7909 输出端电压为 -9V，7805 输出端电压为 +5V。与此同时，在各供电电源处加入测试点以便调试。整流电路原理图如图 15-2 所示。

整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 15-3 所示。

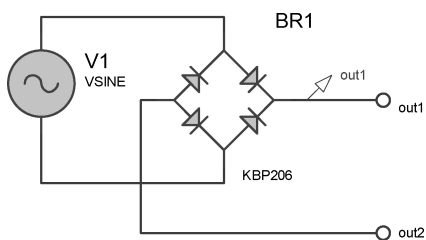


图 15-2 整流电路原理图

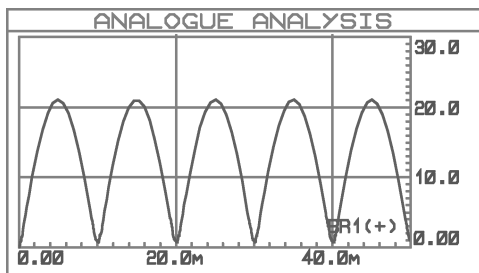


图 15-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 15-4 所示，为了模仿市电经降压后的输入电压，将电压输入设置为 50V，频率设置为 50Hz。

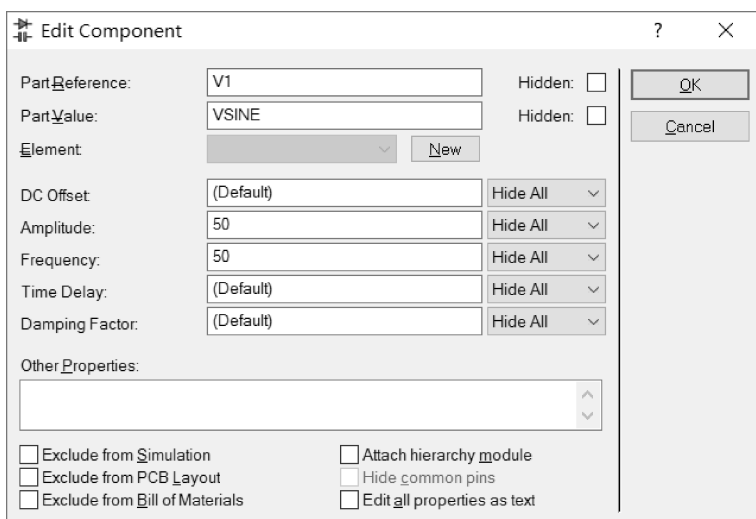


图 15-4 电压信号输入设置

验证滤波电路的效果，以初步滤波电路（见图 15-5）为例进行分析。初步滤波电路输出用示波器监视，仿真结果如图 15-6 所示。

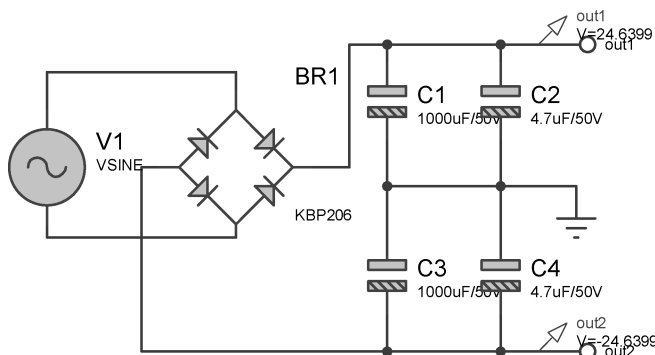


图 15-5 初步滤波电路

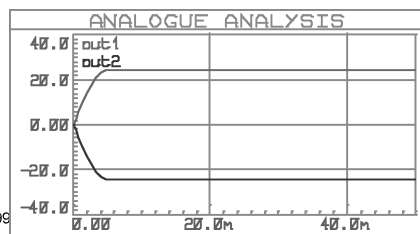


图 15-6 初步滤波电路输出仿真图



若将  $C_1$  电容值调整为  $100\mu\text{F}$ ，如图 15-7 所示，则会导致电路输出端 out1 与 out2 处输出电压大小不等。

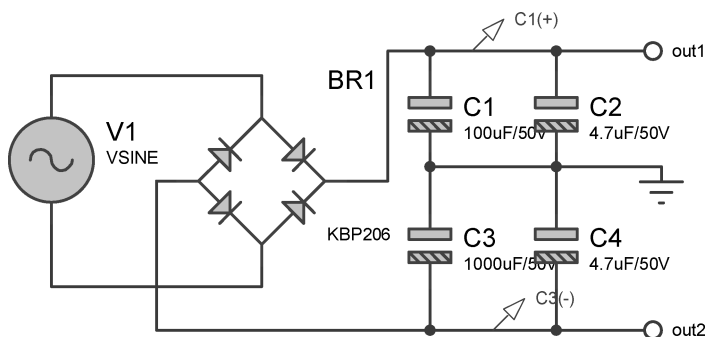


图 15-7 调节  $C_1$  后的滤波电路

滤波电路输出端 out1 与 out2 处加入探针，用图表显示其输出结果，如图 15-8 所示。

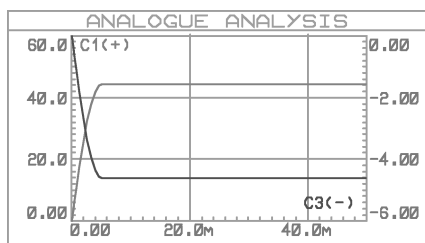


图 15-8 调节  $C_1$  后滤波电路输出仿真图

滤波电路中电容大小除影响电路的滤波效果外，还影响到电路的整流输出。若上下电路不对称，则不会输出大小相等的直流电压有效值，即不会输出大小相等的直流正负电压。整流电路的 out1、out2 处输出的电压信号经过三端稳压器 7818、7918，可得到稳定的  $\pm 18\text{V}$  直流电压信号，仿真如图 15-9 所示。

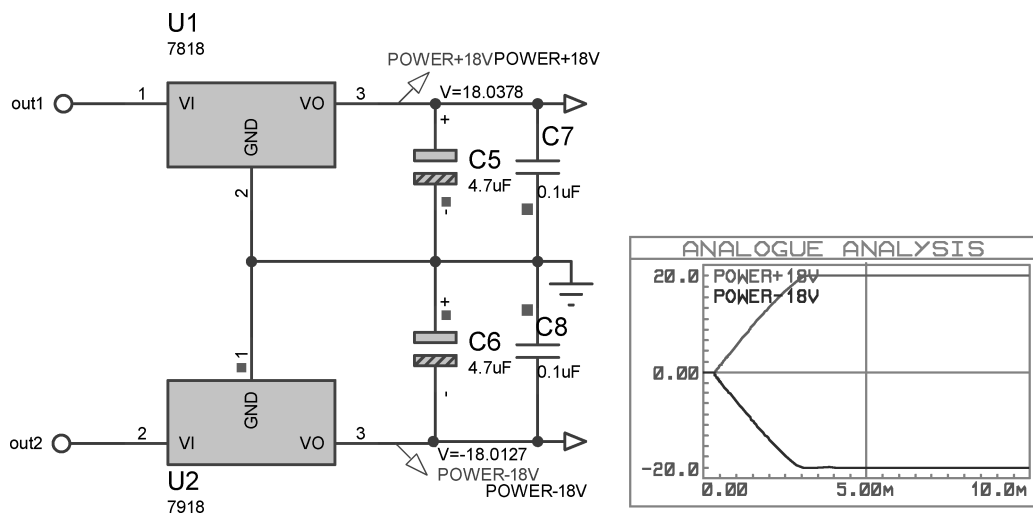


图 15-9 稳压器 7818 和 7918 输出仿真

稳压器 7818、7918 输出的  $\pm 18\text{V}$  电压通过稳压器 7809、7909 进一步稳压，可得到  $\pm 9\text{V}$  的直流电压。其中 7809 输出的  $+9\text{V}$  电压再经过稳压器 7805，在 7805 的输出端得到  $+5\text{V}$  的稳定直流供电电压，仿真结果与输出波形分别如图 15-10、图 15-11 所示。

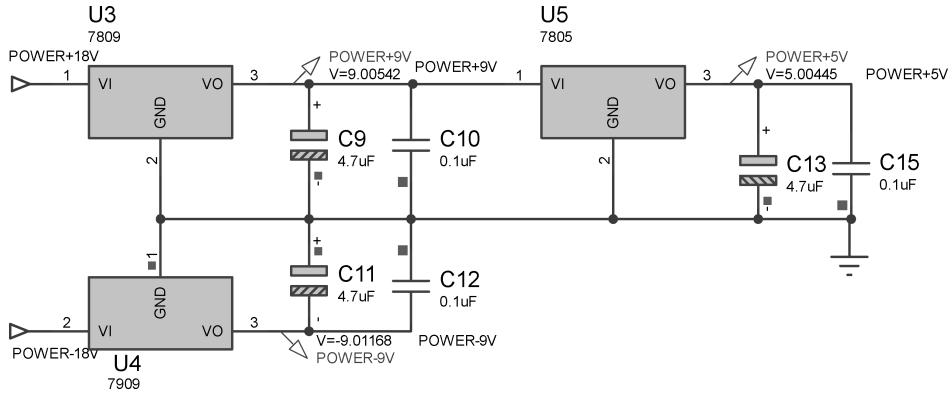


图 15-10 稳压器 7809、7909 和 7805 稳压仿真

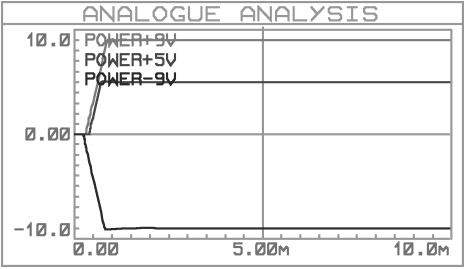




图 15-11 稳压器 7809、7909 和 7805 输出波形

通过灵活运用多个稳压器，可将市电  $220\text{V}$  交流电分别转化为  $\pm 18\text{V}$ 、 $\pm 9\text{V}$ 、 $+5\text{V}$  的直流电压，并以此来对整个电路进行供电。

## 2. 数字量控制电路

数字量控制电路由按键、上拉电阻以及 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 芯片组成。由于本项目中只实现加计数、减计数功能，故将置数端 PL 置为无效电平高电平，清除端 MR 置为无效电平低电平。计数输入端  $\text{D}_0 \sim \text{D}_3$  接地，表明计数器从 0000 开始计数。当加计数端 UP 有上升沿信号并且减计数端为高电平时，计数器功能为加计数。当减计数端 DN 有上升沿信号并且加计数端为高电平时，计数器功能为减计数。当电路中 ADD 按键与 DEC 按键都没有按下时，74LS193 的 UP 和 DN 引脚为高电平；当 ADD 或 DEC 按键按下时，相应引脚（UP 或 DN）瞬间变为低电平；按键弹起时相应引脚又变为高电平，从而产生上升沿使计数器工作。74LS193 功能表如表 15-1 所示。数字量控制电路仿真图如图 15-12 所示。

表 15-1 74LS193 功能表

MR	PL	UP	DN	MODE
H	X	X	X	Reset
L	L	X	X	Preset
L	H	H	H	No change
L	H		H	Count Up
L	H	H		Count Down

电路中可逆加减计数器 74LS193 的 UP 和 DN 引脚在无按键（按键指 ADD 与 DEC）按下时均为高电平。初态如图 15-12 所示。

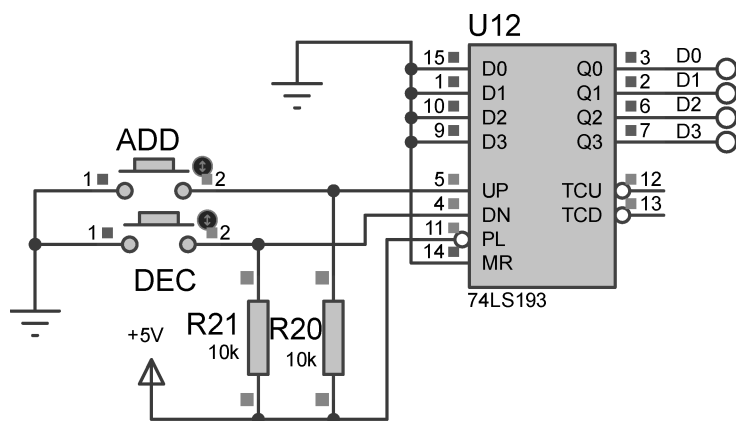


图 15-12 数字量控制电路仿真图

按下一次 ADD 键时，可逆加减计数器 74LS193 的加计数端 UP 检测到上升沿信号，则当前计数器功能为加计数。输出引脚由低位到高位分别为 D0、D1、D2、D3。这里按下两次 ADD 键，当前输出值为 0010，如图 15-13 所示。

按下一次 DEC 键时，计数端 DN 有上升沿信号并且加计数端为高电平时，计数器功能为减计数。输出引脚由低位到高位分别为 D0、D1、D2、D3。这里按下一次 DEC 键，当前输出值为 0001，如图 15-14 所示。

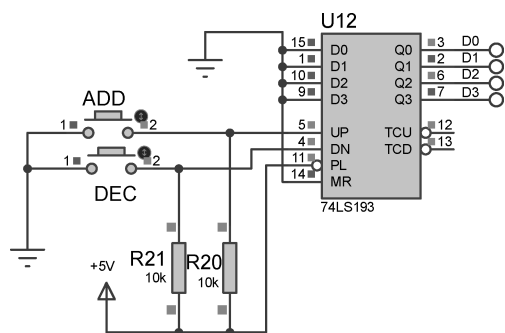


图 15-13 ADD 键控制仿真图

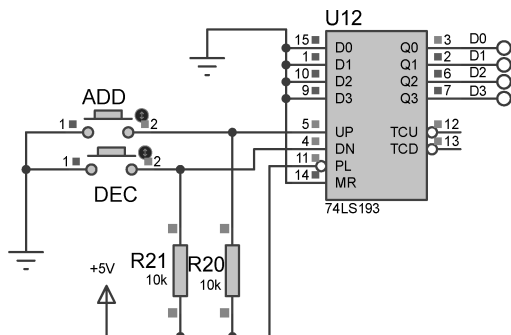


图 15-14 DEC 键控制仿真图

### 3. 数模转换电路

DAC 模块是整个系统的纽带，将控制部分的数字量转化成电压调整部分的模拟量。这部分电路由数模转换芯片 DAC0832 和运算放大器 LM324 组成。DAC0832 主要由 8 位输入寄存器、8 位 DAC 寄存器、8 位 DA 转换器以及输入控制电路四部分组成。8 位 DA 转换器输出与数字量成正比的模拟电流。本设计中  $\overline{WR}$  和  $\overline{XFER}$  同时为有效低电平，8 位 DAC 寄存器端为高电平“1”，此时 DAC 寄存器输出端 DI4 ~ DI7 跟随输入端 DI0 ~ DI3 的电平变化。该数模转换电路采用的是 DAC0832 单极性输出方式，运算放大器 LM324 使得 DAC0832 输出的模拟电流转化为电压量。

输出电压为

$$V_{out1} = BV_{REF}/256 \quad (15-1)$$

式中， $B$  为 DI0 ~ DI7 组成的 8 位二进制数； $V_{REF}$  为由电源电路提供  $-9V$  的 DAC0832 的参考电压。本项目中前一级数字控制电路输出为 4 位二进制数，DAC0832 中待转换的数字量 DI0、DI1 接 D0，DI2、DI3 接 D1，以此类推，将 4 位二进制数接成 8 位输入。

令当前接收的数据 D3 到 D0 为 1111，经数模转换，由 OUT1 端输出，仿真结果如图 15-15 所示。

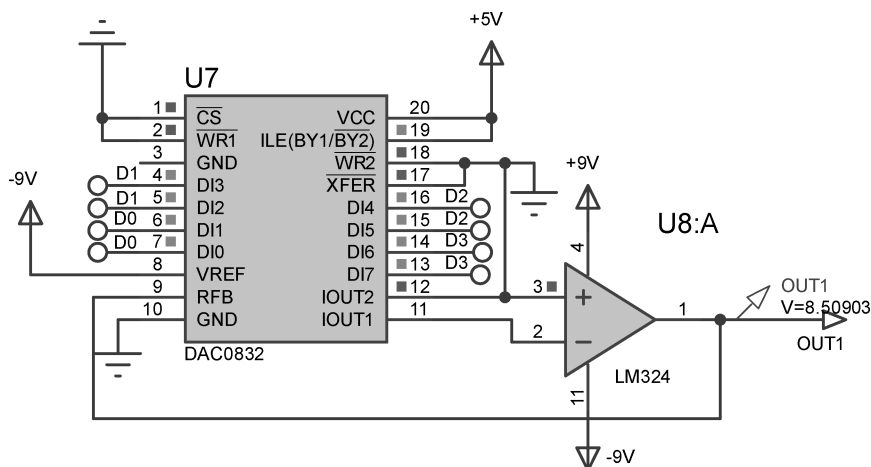


图 15-15 数模转换电路仿真图

OUT1 端作为数模转换电路输出端，其输出波形如图 15-16 所示。

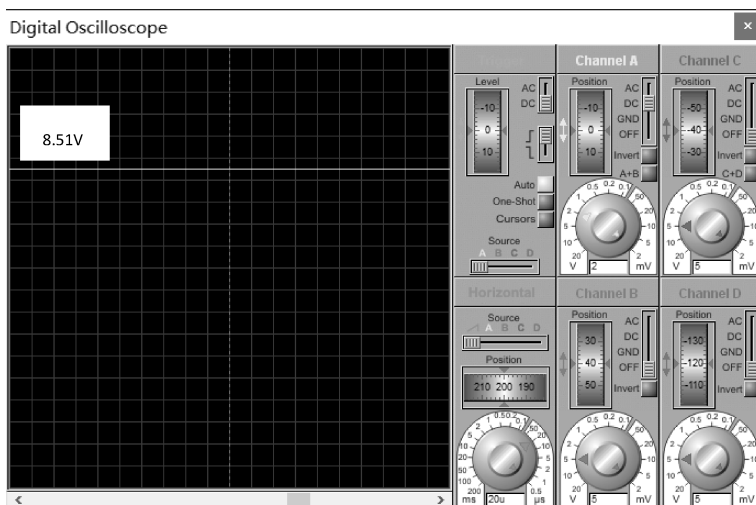


图 15-16 数模转换电路输出波形

#### 4. 反相放大电路

反相放大电路（见图 15-17）由运算放大器 TL084 和相应电阻组成。由于前一级数模转换电路的模拟电压较小，这一级电路选择放大倍数为 2，将前一级模拟电压初步放大。从图 15-18 仿真结果来看，实现了对上级信号的反相 2 倍放大。

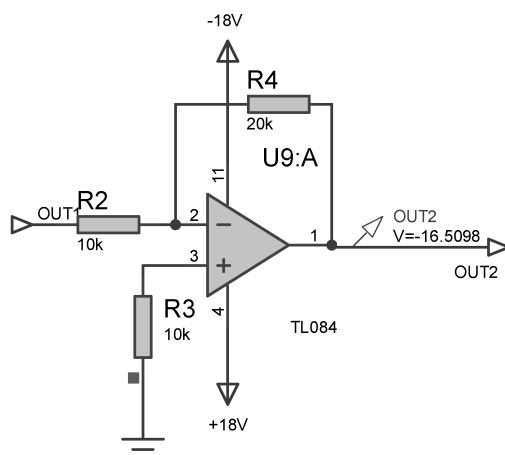


图 15-17 反相放大电路仿真图

## 5. 反相求和运算电路

该部分电路由运算放大器 TL084 和相应的电阻组成。 $R_7$ 、 $R_8$ 、 $R_{V2}$ 用来调整求和电路的另一路输入电压值， $R_{V1}$ 用来调整放大增益，其中输出电压为

$$V_{OUT3} = -(V_{IN3} + V') \frac{R_{V1}}{R_5} \quad (15-2)$$

式中  $V'$  为  $R_6$  左端电压。这部分电路可以进一步调整电路电压的输出值，从而达到改变电路输出电压的挡位值。调节  $R_{V2}$  可以改变  $V'$  的值从而改变  $V_{OUT3}$  的值，调节  $R_{V1}$  也可以通过改变增益而改变输出电压值。仿真结果如图 15-19 所示，当前  $R_{V2}$  取值为  $10k\Omega$ ，位置为 72% 处； $R_{V1}$  取值为  $10k\Omega$ ，位置为 78% 处。

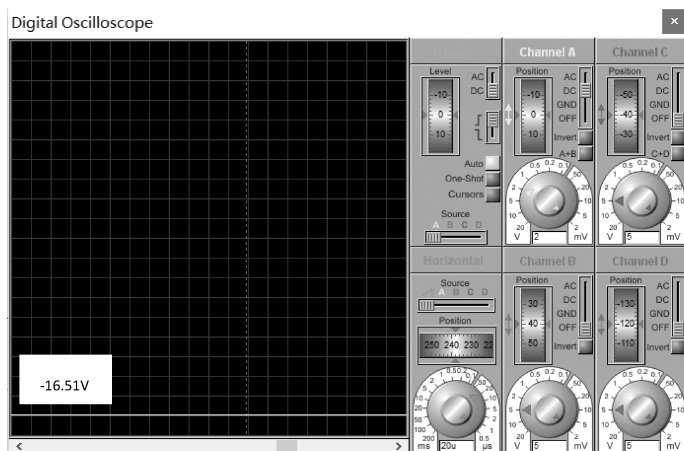


图 15-18 反相放大电路输出波形

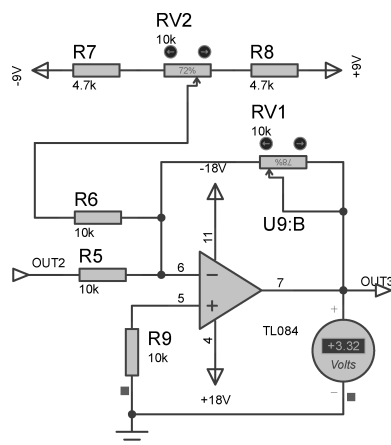


图 15-19 反相求和运算电路仿真图

OUT 3 端输出波形如图 15-20 所示。

反相放大电路输出由 OUT 3 端接入反相求和电路。该部分电路由运算放大器 TL084 和相应的电阻组成，其功能为调节  $R_{V2}$  可以改变  $V'$  的值从而改变  $V_{OUT3}$  的值，调节  $R_{V1}$  也可以通过改变增益而改变输出电压值。

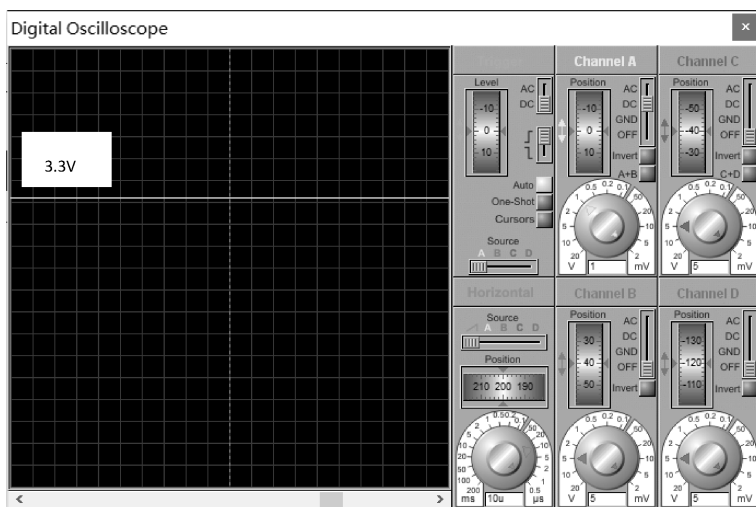


图 15-20 反相求和运算电路输出波形

## 6. 输出稳压电路

本电路用于使未经稳压的电源电路输出稳定可调的电压。我们期望输出稳定电压跟随前一级电压调整后的电压可调。采用三端稳压器 7805 和运算放大器 NE5532 使得输出电压稳定并且从 0 可调。最终输出电压为

$$V_{\text{output}} = \left(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}\right) V_{\text{out}} \quad (15-3)$$

式中,  $R_{10}$  选  $100\Omega$ ;  $R_{11}$  选  $100\text{k}\Omega$ 。这样最终输出为  $1.001\text{V}$  调整后的模拟电压, 能很好地跟随未经稳压的电压输出。

如图 15-21 所示, 当前状态下电路空载输出为  $+3.32\text{V}$  直流电压。OUTPUT 处空载输出波形如图 15-22 所示。在电路输出端 OUTPUT 处接入  $1\text{k}\Omega$  负载测试其稳压性能, 仿真结果如图 15-23 所示。

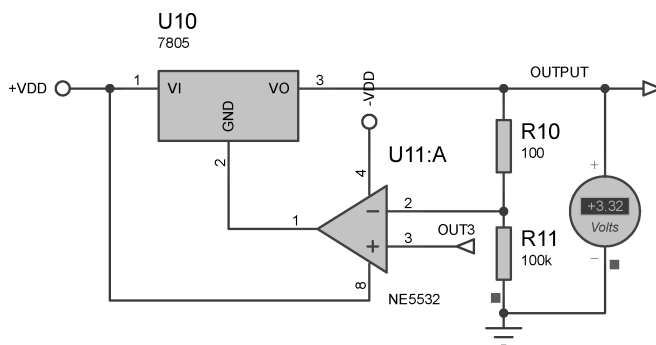


图 15-21 稳压电路空载输出仿真图

OUTPUT 处加  $1\text{k}\Omega$  负载输出波形如图 15-24 所示。

电源输出端添加  $1\text{k}\Omega$  负载后, 电压输出为  $+3.32\text{V}$ , 与空载输出电压十分相近。随后, 在电路输出端 OUTPUT 处接入  $10\text{k}\Omega$  负载测试, 仿真结果如图 15-25 所示。

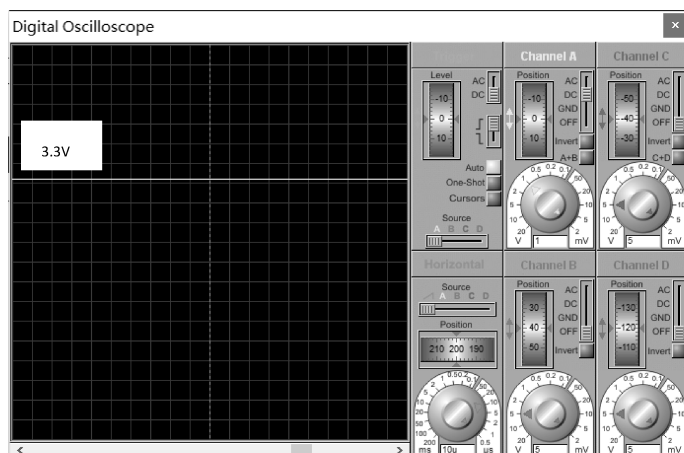


图 15-22 输出稳压电路输出波形

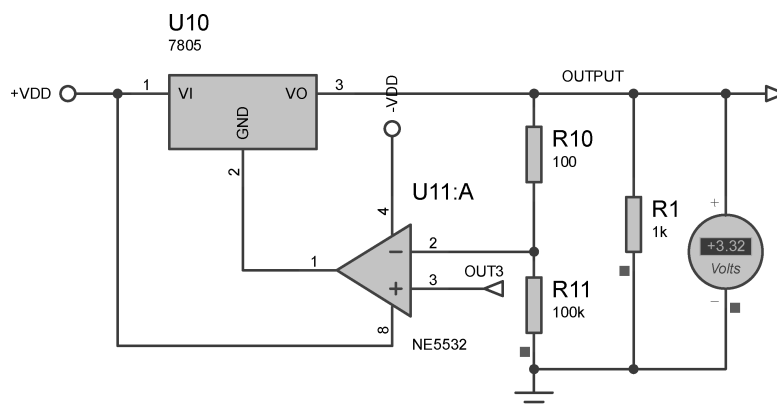


图 15-23 稳压电路负载输出仿真图（一）

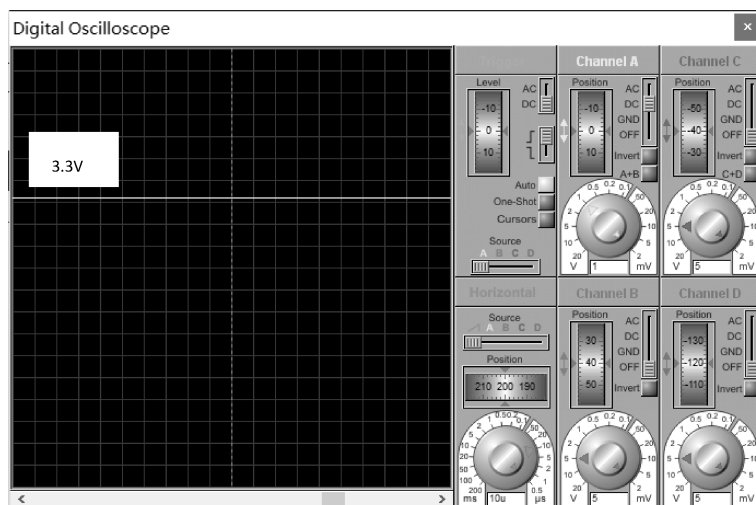


图 15-24 稳压电路负载输出波形（一）

OUTPUT 端加 10kΩ 负载输出波形如图 15-26 所示。

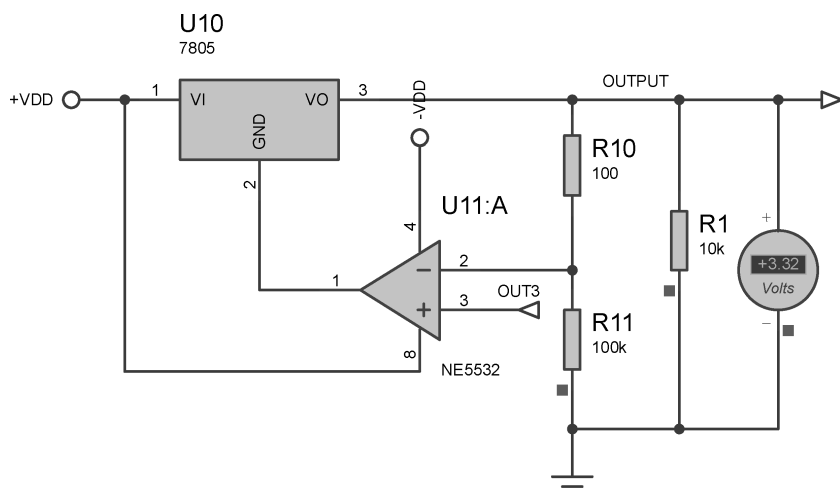


图 15-25 稳压电路负载输出仿真图（二）

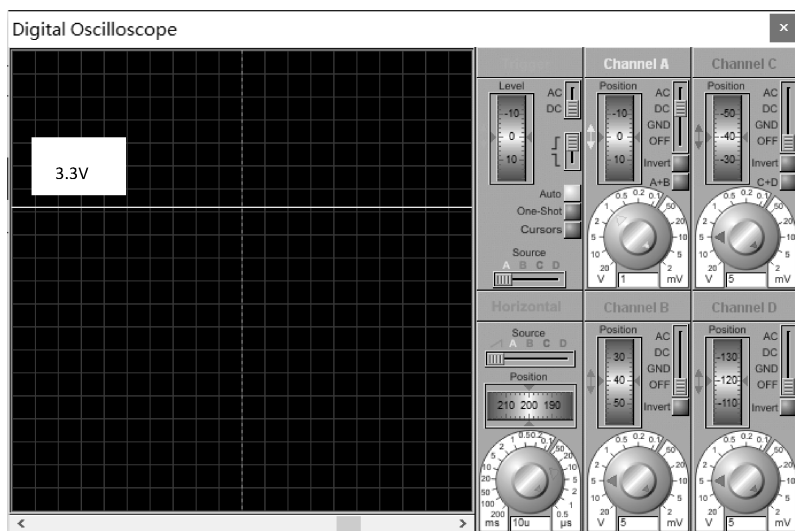


图 15-26 稳压电路负载输出波形（二）

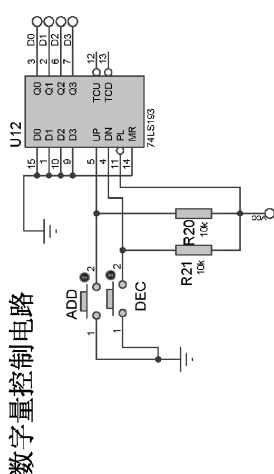
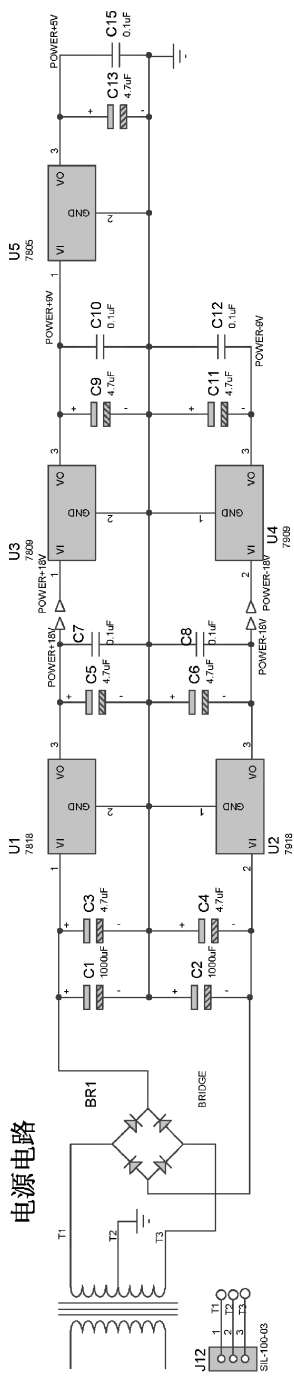
电源输出端添加  $10\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $+3.3\text{V}$ ，仍然与空载输出电压十分相近，可说明本数控电压源属于稳压电源。

综上所述，本设计要求完成一个直流稳压电源电路，并且能通过按键控制电路输出的稳定电压值。信号经数字量控制电路、数模转换电路、反相放大电路与反相求和运算电路，最后实现输出稳定可调的直流电压。且在负载变化的情况下，本项目设计的数控直流稳压电源输出不随其改变，属于直流稳压电源。

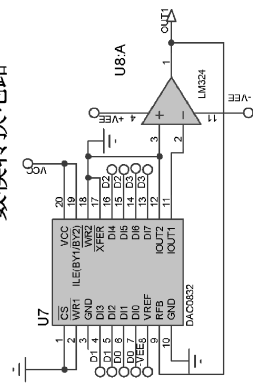
## 7. 电路整体原理图（见图 15-27）

电路实际测量结果分析：上电后，可以通过如上按键方式测得电路输出的 13 个不同挡位电压值。本项目满足数控直流稳压电源电路的设计要求。

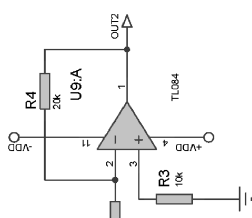




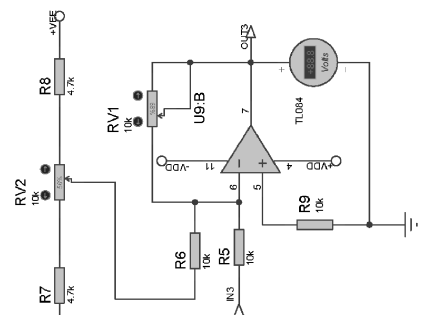
### 数模转换电路



### 反相放大电路



### 反相求和运算电路



### 输出稳压电路

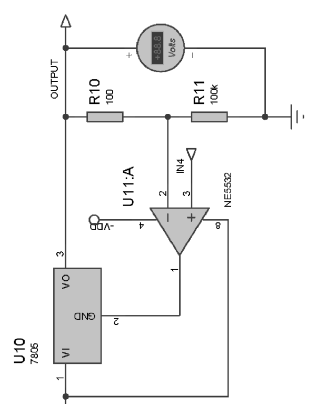


图15-27 电路整体原理图



PCB 版图 (见图 15-28)

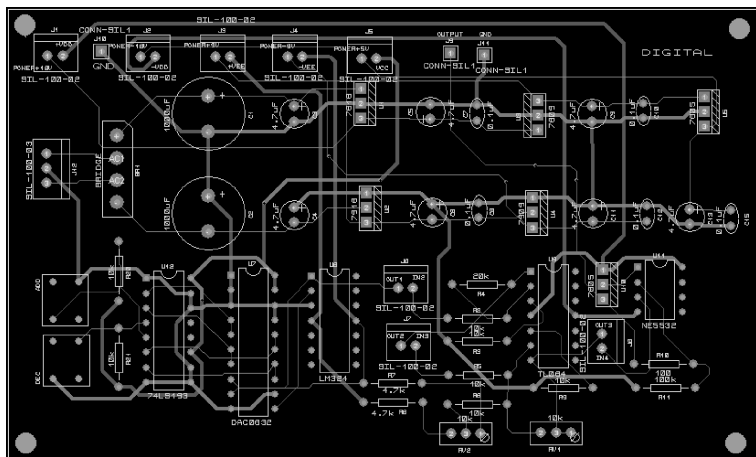


图 15-28 PCB 版图



实物图 (见图 15-29)

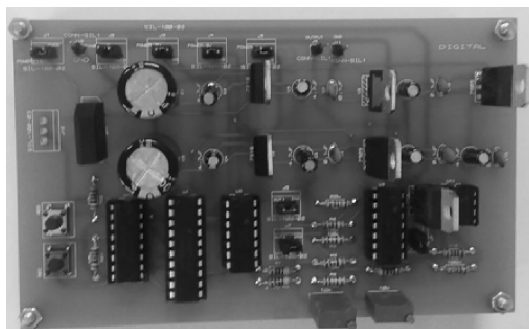


图 15-29 实物图



## 项目总结

本项目主要介绍一个数控直流稳压电源的实现方法，且满足了设计任务指标。整个方案硬件电路经由整流滤波模块、数字量控制模块、数模转换模块、反相放大模块、反相求

和运算模块，最终由输出模块得到直流稳压电源的输出值。硬件电路中  $R_{V2}$  保证电路输出达到步进值的设定， $R_{V1}$  保证电路输出达到初始电压的设定。本项目采用数字电路控制的方法，相较于一般的单片机等控制电路制作简易，成本低廉，具有较高的教学与实用价值。



## 思考与练习

(1) 反相放大电路中，为什么放大倍数为 2？

答：反相放大电路输出  $V_{out2} = -V_{out1} \times (R_4/R_2)$ ，其中  $R_4$  为  $20k\Omega$ ， $R_2$  为  $10k\Omega$ ，故放大倍数为 2。

(2) 怎样实现对 74LS193 进行上升沿触发？

答：硬件电路为 UP 和 DN 引脚接下拉按键和上拉电阻。按键没有按下时，UP 和 DN 引脚为高电平，当非自锁按键按下时，相应引脚瞬间为低电平，按键弹起时相应引脚又为高电平，从而产生了上升沿信号使计数器工作。

(3) 输出稳压电路中，为什么  $R_{10}$  选  $100\Omega$  的阻值， $R_{11}$  选  $100k\Omega$  的阻值？

答：由公式  $V_{output} = \left(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}\right)V_{out}$  可得，当  $R_{10}$  选择较小而  $R_{11}$  选择较大时，稳压输出可以仅仅跟随调整后的电压变化，前者为后者的 1.001 倍，输出误差较小。



## 特别提醒

(1) 如果想改变输出电压的挡位值，可以调节变阻器  $R_{V1}$  和  $R_{V2}$ 。

(2) 由于本电路器件较多，可以选择分模块焊接，例如焊接好电源电路，测试工作正常后再进行下一步焊接。

## 项目 16 可调式倍压器直流稳压电源电路设计

一些需用高电压、小电流的地方，常常使用倍压整流电路。倍压整流，可以把较低的交流电压，用耐压较高的整流二极管和电容器，“整”出一个较高的直流电压。倍压整流电路一般按输出电压是输入电压的多少倍，分为二倍压、三倍压与多倍压整流电路。本项目利用可调的输入电源电压进行供电，通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路，且可实现输出可调。



### 设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将直流电压 +12V 经过可调电源电路输出在一定范围内变化的电压，再经过二倍倍压器输出稳定变化的直流电压。



### 基本要求

- ☺ 能够输出稳定可调的直流稳压电源。
- ☺ 采用二倍倍压器电路产生稳定的直流电压。



### 总体思路

首先通过可调输出电源电路使输出电压在 4 ~ 9V 可调。通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路。



### 系统组成

可调式倍压器直流稳压电源电路整个系统主要分以下三个部分。

- ⑤ 可调电源电路：利用 LM317 输出可调电压。
- ⑥ 多谐振荡电路：利用 NE555 定时器连接成一个多谐振荡器。振荡频率为 2kHz。
- ⑦ 倍压整流电路：将较低的电压通过电容的储能作用输出一个较高的电压。

系统模块框图如图 16-1 所示。

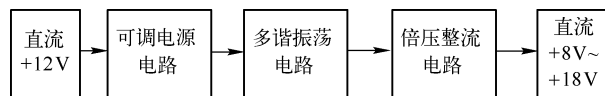


图 16-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 可调电源电路

首先利用 LM317 构成一个输出在一定范围可调的直流稳压电源。

三端稳压器选择 LM317（输出电流为 1.5A，输出电压可在 1.25 ~ 37V 之间连续调节），其输出电压由外接电阻  $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_{V1}$  决定，输出电压可在 +4 ~ +9V 之间变化。输出端和调整端之间的电压差为 1.25V。在输出端同时并入二极管  $D_3$ （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。

三端稳压器最易损坏的是输出脚（图 16-2 中 2 脚）电压高于输入脚（图 16-2 中 3 脚）而形成击穿，因此一般像图 16-2 中那样并联一个二极管 1N4001。它的主要作用是：如果输入端出现短路，则输出 2 脚会高于输入 3 脚，很容易击穿稳压器，所以反向并联一个二极管，对 1 脚电压进行泄放，使 2 脚到 3 脚电压限幅为 0.7V，可有效保护稳压器不被反向击穿。

在三端稳压器输出端接入电解电容  $C_8 = 4.7\mu\text{F}$  用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容  $C_9 = 100\text{nF}$  用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段比较明显，所以不能抑制高频干扰）。可调电源电路原理图如图 16-2 所示。可调电源电路输出端 out1 输出波形如图 16-3 所示。可见，当  $R_{V1}$  处于位置 1（14%）时，三端稳压器输出端 out1 输出大小为 +4.83V 的直流电压。

### 2. 多谐振荡电路

要使由 out1 输入的直流电压转换为要求输出的负电压，首先要进行逆变式的转换。利用的主要核心器件是 NE555 定时器。

由 NE555 定时器组成的多谐振荡电路如图 16-4 所示。其中  $R_1$ 、 $R_2$  和电容  $C_1$  为外接元件。根据 NE555 定时器的工作原理可知，电容充电时，定时器输出高电平；电容放电时，定时器输出低电平。电容不断地进行充放电，输出端便获得规律的矩形方波。振荡频率取决于  $R_1$ 、 $R_2$  和  $C_1$ 。多谐振荡器无外部信号输入，便可输出矩形波，其实质就是将直流电压变为交流电压。

选择  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_1$  值分别为 15k $\Omega$ 、27k $\Omega$  和 10nF，多谐振荡电路仿真图如图 16-4 所示。

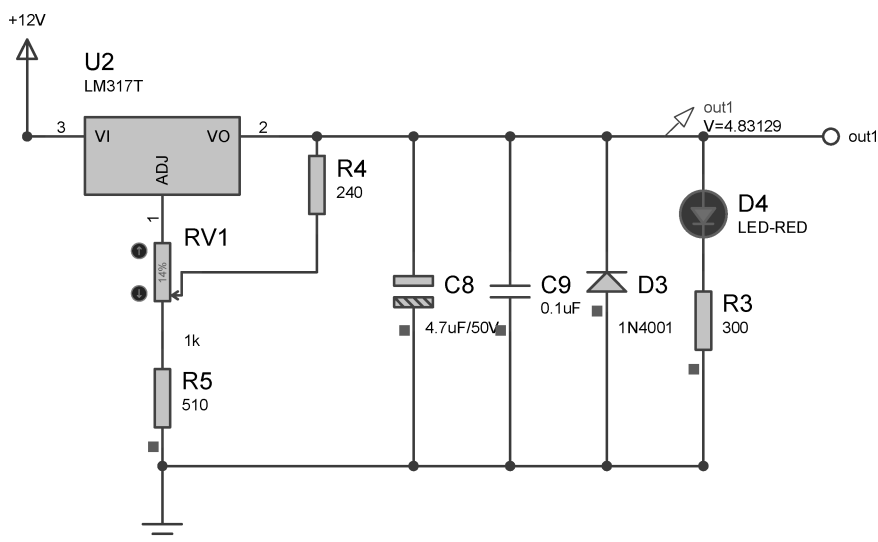


图 16-2  $R_{V1}$  处于位置 1 时可调电源电路原理图

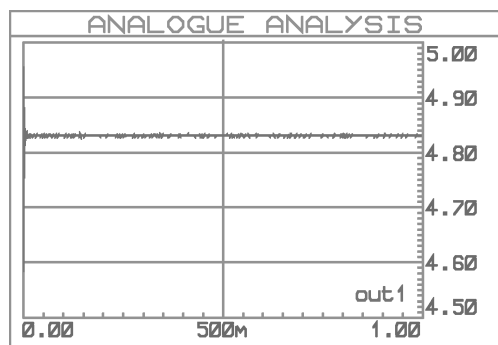


图 16-3  $R_{V1}$  处于位置 1 时可调电源电路输出波形

图 16-4 中电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和电容  $C_1$  构成定时电路。定时电容  $C_1$  上的电压  $U_C$  作为高触发端 TH (6 脚) 和低触发端 TR (2 脚) 的外触发电压。放电端 DC (7 脚) 接在  $R_1$  和  $R_2$  之间。电压控制端 CV (5 脚) 不外接控制电压。直接复位端 R (4 脚) 接高电平，使 NE555 处于非复位状态。

多谐振荡电路的放电时间常数计算方法如下。

正向脉冲宽度  $t_{PH}$

$$t_{PH} \approx 0.693(R_1 + R_2) \times C_1 \quad (16-1)$$

负向脉冲宽度  $t_{PL}$

$$t_{PL} \approx 0.693R_2C_1 \quad (16-2)$$

输出信号的振荡周期  $T$  可由式 (16-3) 得出

$$T = t_{PH} + t_{PL} \quad (16-3)$$

由式 (16-3) 可知，NE555 3 脚输出信号振荡周期  $T$  为 0.00048s，频率为 2kHz。

多谐振荡电路输出端 out2 仿真结果如图 16-5 所示。

如仿真结果所示，NE555 输出信号周期约为 0.5ms，与计算结果吻合。

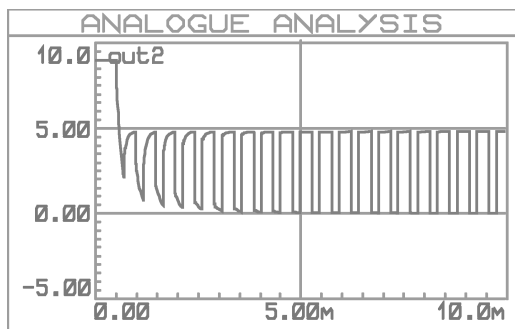
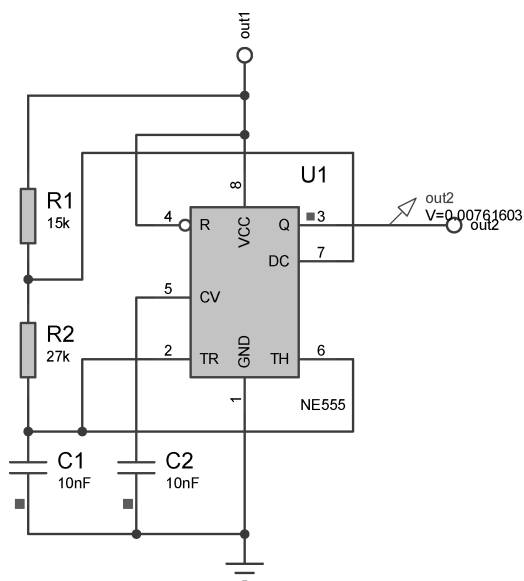


图 16-4  $R_{V1}$  处于位置 1 时多谐振荡电路仿真图

图 16-5  $R_{V1}$  处于位置 1 时多谐振荡电路输出仿真图

### 3. 倍压整流电路

如图 16-6 所示, 当 NE555 输出电压处于负半周期时,  $D_2$  导通,  $D_1$  截止,  $C_3$  充电,  $C_3$  电压最大值可达  $V_m$ ; 当 NE555 输出电压处于正半周期时,  $D_1$  导通,  $D_2$  截止,  $C_4$  充电。由于电荷的储存作用, 可以使  $C_4$  电压变为 NE555 输出电压的二倍, 从而达到要求。



其实图 16-4 中  $C_2$  的电压无法在一个半周期内充至  $2V_m$ , 它必须在几个周期后才可逐渐趋近于  $2V_m$ 。

最终输出电压由 out1 与 out2 两部分叠加而成。对  $R_{V1}$  处于位置 1 (14%) 时的整流电路进行空载仿真, 结果如图 16-6 所示。

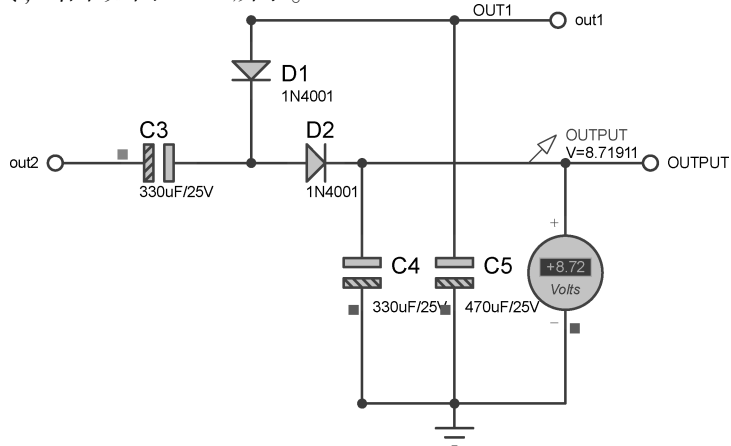


图 16-6  $R_{V1}$  处于位置 1 时倍压整流电路空载仿真图

倍压整流电路空载输出端 OUTPUT 输出波形如图 16-7 所示。

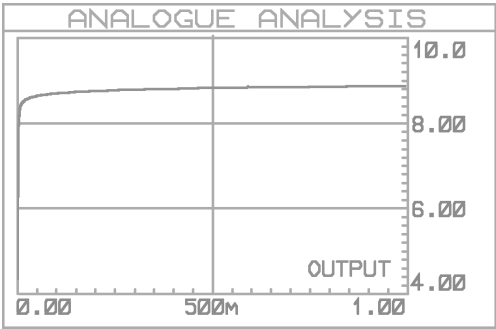


图 16-7  $R_{V1}$  处于位置 1 时倍压整流电路空载输出波形

由图 16-6 可以看出，在项目设计的可调式倍压整流电路当  $R_{V1}$  处于位置 1 时（供电电压为 +4.83V）输出 8.72V 直流电压。

再次调节  $R_{V1}$  至位置 2（70%），供电输出仿真图如图 16-8 所示。

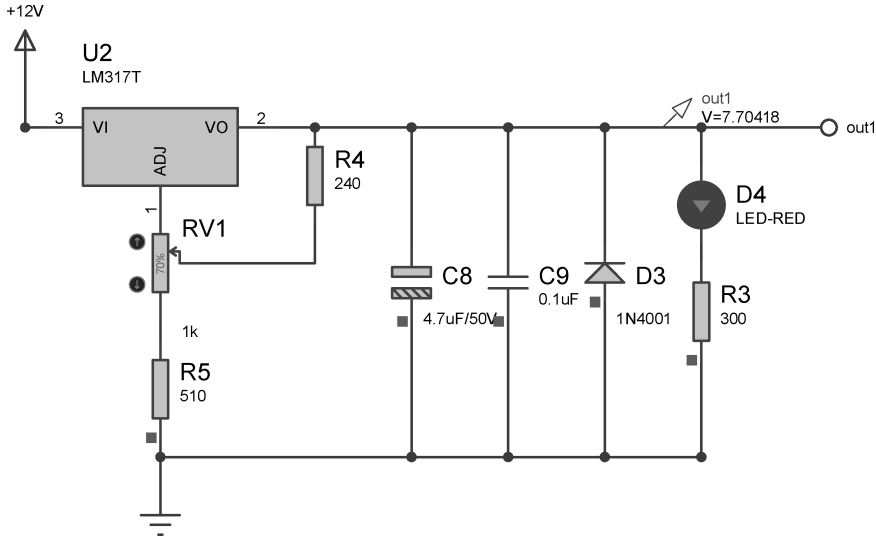


图 16-8  $R_{V1}$  处于位置 2 时供电输出仿真图

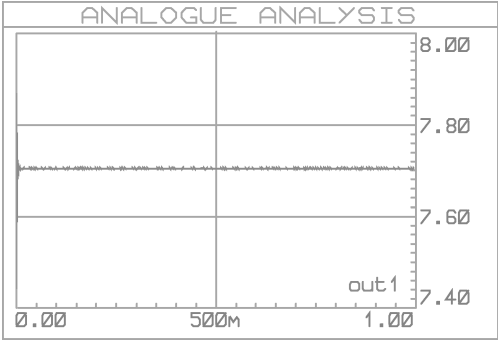


图 16-9  $R_{V1}$  处于位置 2 时供电输出波形

供电电路输出端 out1 输出波形如图 16-9 所示。

调节  $R_{V1}$  至位置 2（70%）时，电路供电输出变为 +7.7V。供电电压由 out1 接入多谐振荡电路，仿真如图 16-10 所示。

由于 out1 处接入电压的增大，多谐振荡电路的输出电压也相应增大，多谐振荡电路输出端 out2 输出波形如图 16-11 所示。

调节  $R_{V1}$  至位置 2（70%），整流电路空



载仿真图如图 16-12 所示。

整流电路输出端 OUTPUT 输出波形如图 16-13 所示。

由图 16-12 可以看出，本项目设计的可调式倍压整流电路当  $R_{V1}$  处于位置 2 时（供电电压为 +7.7V）输出 +14.5V 直流电压。

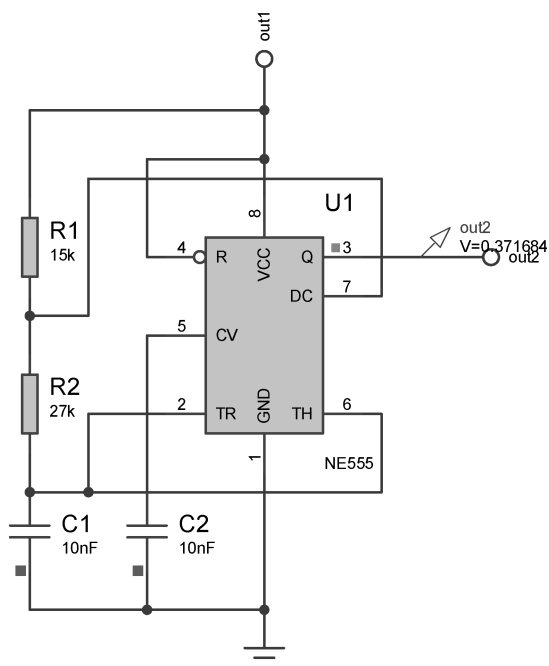


图 16-10  $R_{V1}$  处于位置 2 时多谐振荡电路仿真图

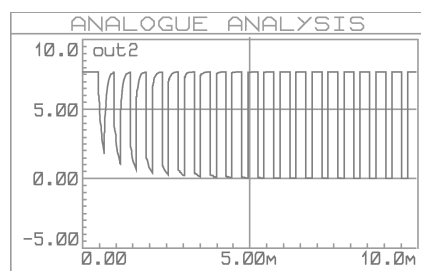


图 16-11  $R_{V1}$  处于位置 2 时多谐振荡电路输出波形

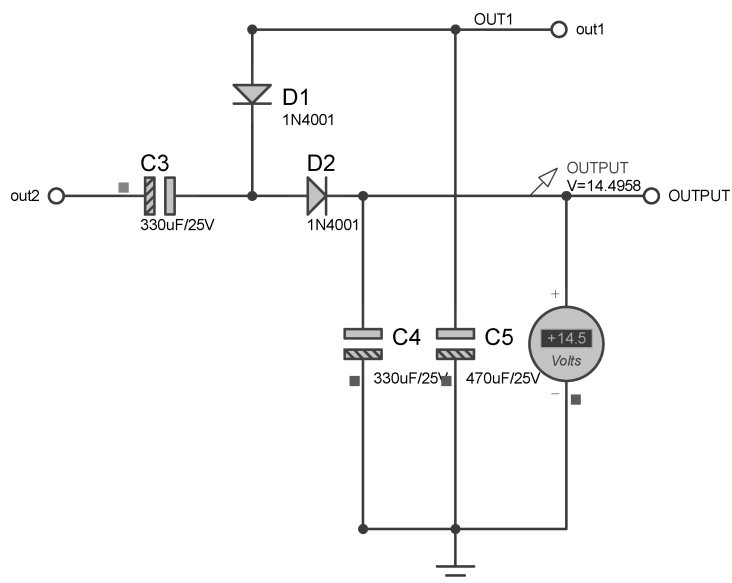


图 16-12  $R_{V1}$  处于位置 2 时倍压整流电路空载仿真图

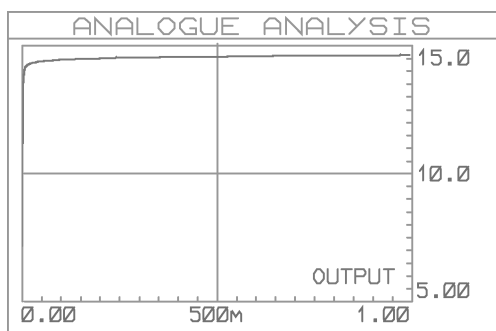


图 16-13  $R_{V1}$  处于位置 2 时倍压  
整流电路空载输出波形

加入  $500\text{k}\Omega$  负载后电路最终输出波形如图 16-17 所示。

在电路输出端 OUTPUT 处加入  $100\text{k}\Omega$  负载进行测试，其电路仿真图如图 16-14 所示。

电源输出端添加  $100\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $14.3\text{V}$ ，与空载输出电压十分相近，满足设计指标。

加入  $100\text{k}\Omega$  负载后电路最终输出波形如图 16-15 所示。

在电路输出端 OUTPUT 处加入  $500\text{k}\Omega$  负载进行测试，其电路仿真图如图 16-16 所示。

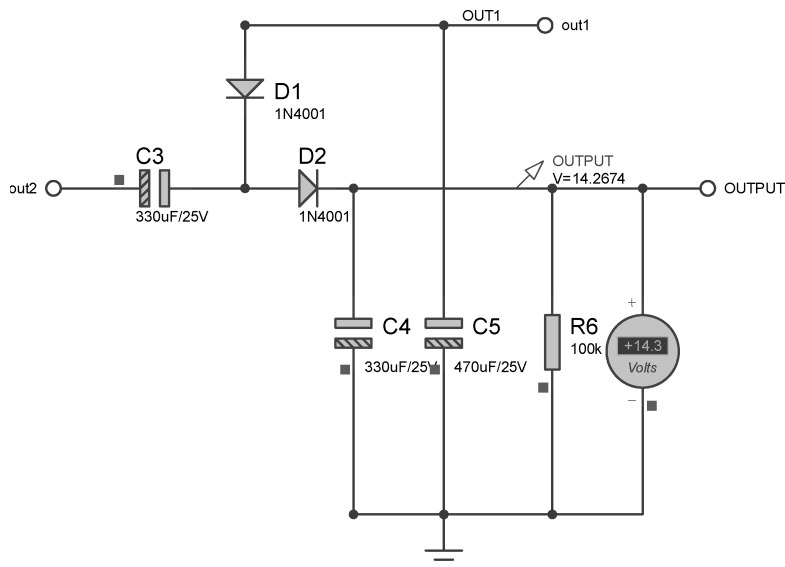


图 16-14 可调式倍压器加负载电路仿真图（一）

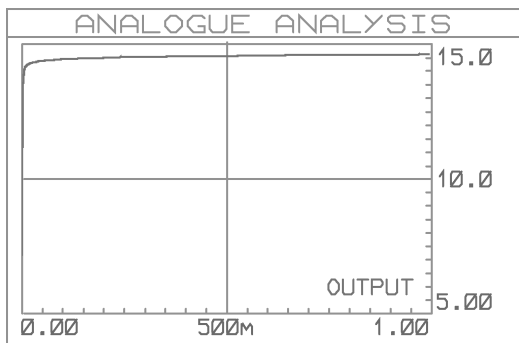


图 16-15 可调式倍压器加负载输出波形（一）

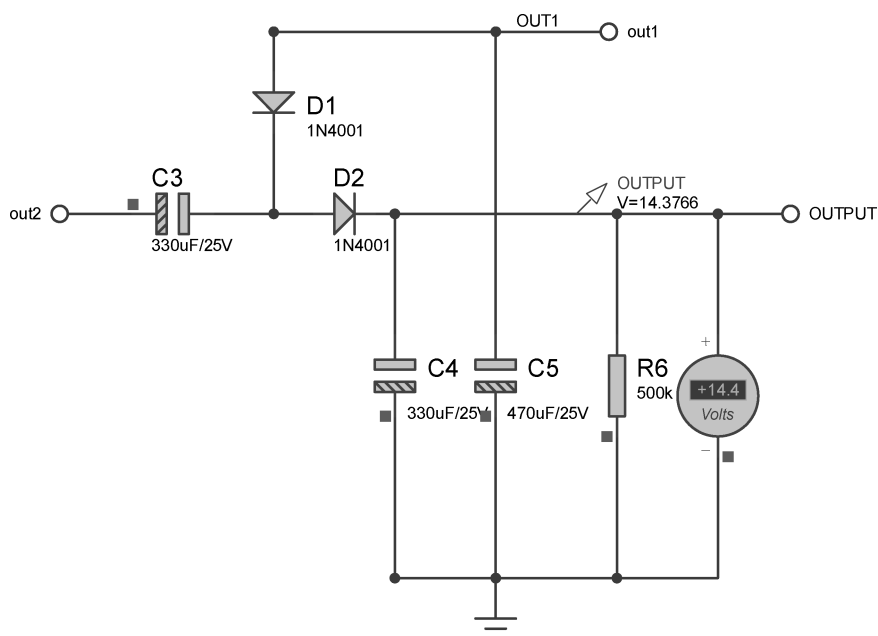


图 16-16 可调式倍压器加负载电路仿真图（二）

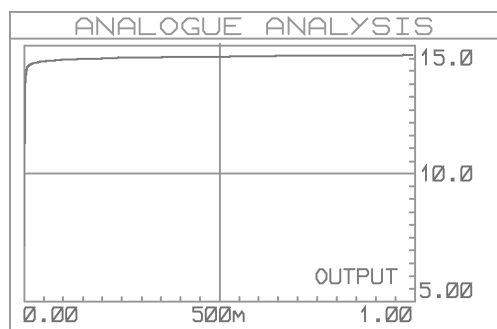


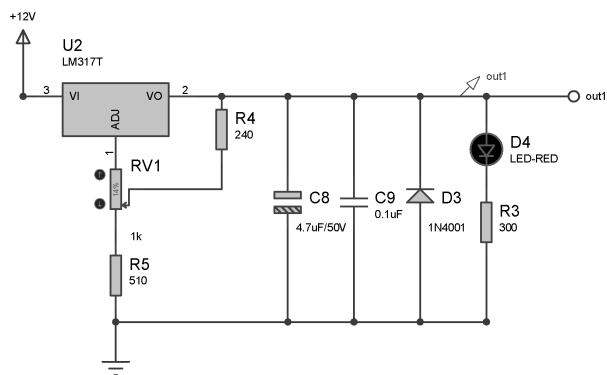
图 16-17 可调式倍压器加负载输出波形（二）

电源输出端添加  $500\text{k}\Omega$  负载后，电源输出为  $+14.4\text{V}$ ，与空载输出电压十分相近，可说明本倍压器电源属于稳压电源。

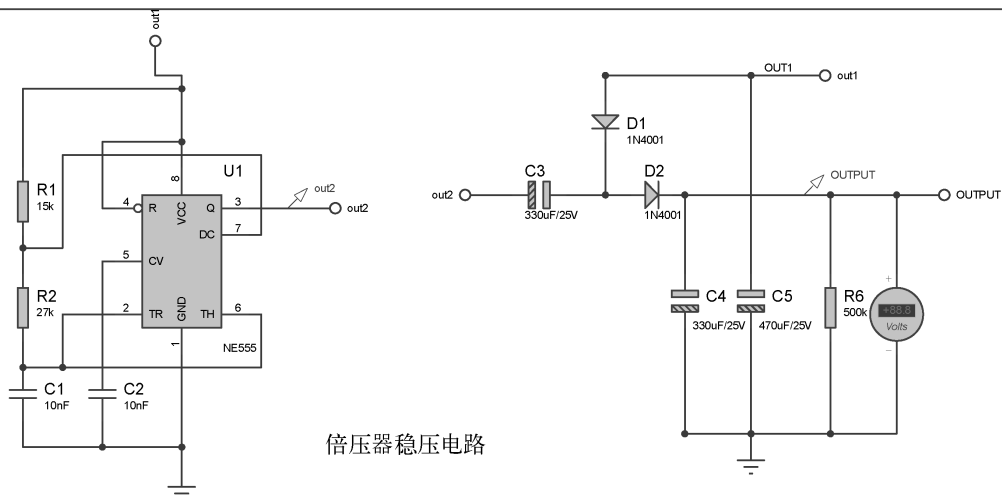
综上所述，本项目设计首先通过可调输出电源电路使输出电压在  $+4 \sim +9\text{V}$  可调。通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE 555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍于输入的直流输出电压。

整体电路原理图如图 16-18 所示。

经过对电路板进行实测，输入  $+12\text{V}$  直流稳压源，当前端可调电源电路输出为  $4.08\text{V}$  时，倍压器输出为  $7.41\text{V}$ ；当前端可调电源电路输出为  $5.07\text{V}$ ，倍压器输出为  $8.92\text{V}$ ；当前端可调电源电路输出为  $9.19\text{V}$ ，倍压器输出为  $17.02\text{V}$ 。电路输出可在  $7.41 \sim 17.02\text{V}$  之间变化。设计要求输入  $+12\text{V}$  电压经二倍倍压器输出  $8 \sim 18\text{V}$  直流电压，实测基本符合设计要求。



可调式直流稳压电源电路



倍压器稳压电路

图 16-18 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 16-19)

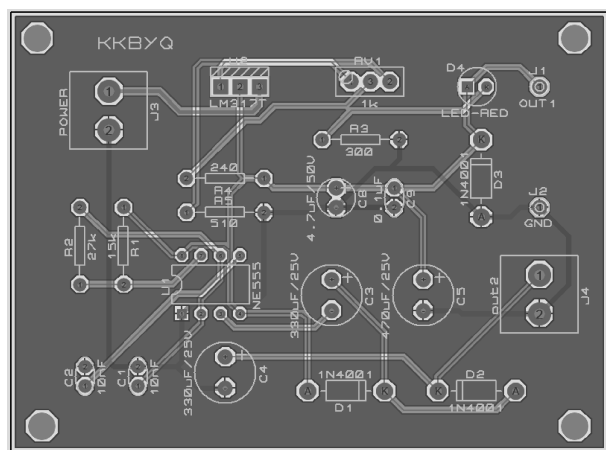


图 16-19 PCB 版图



## 实物测试（见图 16-20、图 16-21）

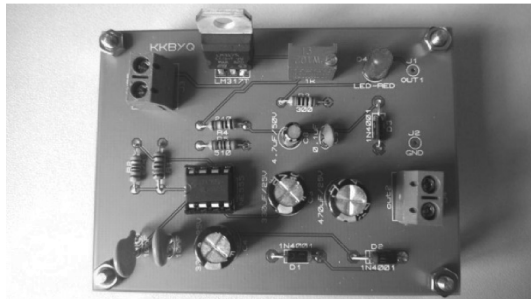


图 16-20 可调式倍压器直流稳压电源电路实物图



图 16-21 可调试倍压器直流稳压电源电路测试图



## 项目总结

本项目任务是设计一个可调倍压直流稳压电源。通过二倍倍压器将可调电压输入进行放大，输出稳定直流电压。首先通过多谐振荡电路输出一个方波，再通过倍压整流电路将输出的电压进行二倍放大，从而达到系统要求。将 NE 555 电路产生的振荡脉冲，通过二极管整流电路整流后向电容充电，使电容充电至电源电压，将这样的整流充电电路逐级连接，就可以得到二倍、四倍甚至多倍于电源电压的升压电路。在电路进行仿真成功的基础上，经过对电路板进行实测，输入 4 ~ 9V 直流稳压源，得到输出电压均为输入电压的二倍，基本符合设计要求。



## 思考与练习

(1) NE 555 定时器在电源电路中的典型应用有哪些？

答：单电源变双电源、直流倍压电源、负电压产生电源、逆变电源等。

(2) 倍压电源电路中对二极管有什么要求？

答：正半周时，二极管  $D_1$  所承受的最大逆向电压为  $2V_m$ ，负半波时，二极管  $D_2$  所承受最大逆向电压值亦为  $2V_m$ ，所以电路中应选择  $PIV > 2V_m$  的二极管。

(3) 倍压器中进行电容选取时可以得到什么结论？

答：倍压电路中电容的取值可以不同，可以通过减小某些对输出影响不大的电容来达到节约成本、减小电路体积的目的。要使其能通过参数组合达到良好的倍压效果。



## 特别提醒

故障分析：当  $D_1$  和  $D_2$  中有一个开路时，都不能得到二倍的直流电压；当  $D_2$  短路时，这一整流电路没有直流电压输出；当  $C_3$  开路时整流电路没有直流电压输出，当  $C_3$  漏电时整流电路的直流输出将下降，当  $C_3$  击穿时这一整流电路只相当于半波整流电路，没有倍压整流功能。

## 项目 17 恒压源充电电路设计

恒压源充电电路的意义是指输出电压恒定，且不随负载变化而变化，具有很高的稳定性及安全性，广泛用于工业控制、设备、机器、仪器等电子设备。恒压源的实质是利用器件对电压进行反馈，动态调节设备的供电状态，从而使得电压趋于恒定。只要能够得到电压，就可以有效形成反馈，从而建立恒压源。再用三极管、LED 等构成充电指示电路，反映电池的充电情况。本项目是设计一个简单的恒压源充电电路，在一定的电压范围内实现对充电电池充电，要求能够设定输出恒定电压值，并且输出电压在 2.5 ~ 5.25V 之间可调。LED 指示灯反映充电情况。利用 LM317 与 TL431 实现对充电电池的恒定电压充电。



### 设计任务

设计一个简单的恒压源充电电路，在一定的电压范围内实现对充电电池充电。



### 基本要求

- ① 在  $R_{p1}$  值确定时，要求能够设定输出恒定电压值，并且输出电压在 2.5 ~ 5.25V 之间可调。
- ② 选择适当  $R_{p1}$  值，当电池达到规定的充电电压时，LED 指示灯熄灭。



### 总体思路

恒压源的实质是利用器件对电压进行反馈，动态调节设备的供电状态，从而使得电压趋于恒定。只要能够得到电压，就可以有效形成反馈，从而建立恒压源。再用三极管、LED 等构成充电指示电路，反映电池的充电情况。



### 系统组成

固定式恒压源充电电路整个系统主要分以下两个部分。

- ① 前置电路（稳压电路）：为充电电路提供稳定的电压。
- ② 恒压充电电路：实现恒压充电，并能够对电压进行调节。

系统模块框图如图 17-1 所示。

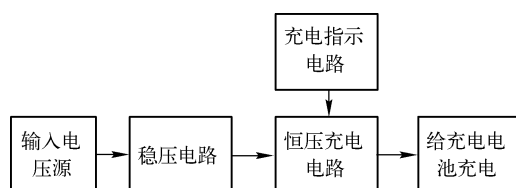


图 17-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 前置电路

这个模块包括输入部分和滤波部分。输入部分由 9V 电源供电，由电压源或电池提供电压。100 $\mu$ F/50V 电解电容的作用是滤波，在现实中，为了不使电路各部分供电电压因负载不同产生变化，会在电源的输出端及负载的电源输入端分别焊接十至数百微法的电解电容。当 9V 电源接入电路时 D<sub>4</sub> 指示灯亮。前置电路仿真图如图 17-2 所示。

### 2. 恒压充电电路

这是电源芯片和它的外围电路，核心器件为三端稳压器 LM317，功能主要是稳定电压信号，以便提高系统的稳定性能和可靠性能。

LM317：由 VI 端提供工作电压，用极小的电流调整 ADJ 端的电压，便可在 VO 端得到比较大的电流输出。还可以通过调整 ADJ 端（1 端）的电阻值改变输出电压。所以，当 ADJ 端的电阻值增大时，输出电压将会升高。



注意

LM317 有一个最小负载电流的问题，即只有负载电流超过某一数值时，它才能起到稳压的作用。这个电流随器件生产厂家的不同在 3~8mA 不等，可以通过在负载端口外接一个合适的电阻来解决。TL431 是一个稳压器，可以通过调节内部三极管的导通量，调节外部输出，使基准电压保持在 2.5V。TL431 的 1 脚连接电位器，是防止电池电压反冲。

当 R<sub>p1</sub> 处于位置 1（70%）时，可调稳压电路仿真图如图 17-3 所示。

电路中恒压电路由 TL431、R<sub>p1</sub>、R<sub>4</sub> 组成，调节 R<sub>p1</sub> 大小就可以改变恒压电压的高低，可调节输出电压在 2.5~7.4V 之间变化。输出电压有公式

$$U_o = \left(1 + \frac{R_{p1}}{R_4}\right) \times 2.5 \quad (17-1)$$

式中 2.5V 为 TL431 提供的基准电压。这样就可以从输出端输出恒定电压与恒定电流。根据式（17-1），计算充电恒压大小为 +3.25V。仿真结果如图 17-4、图 17-5 所示。

恒压输出由基准电压与连入电阻上的电压叠加而成，输出波形如图 17-6 所示。



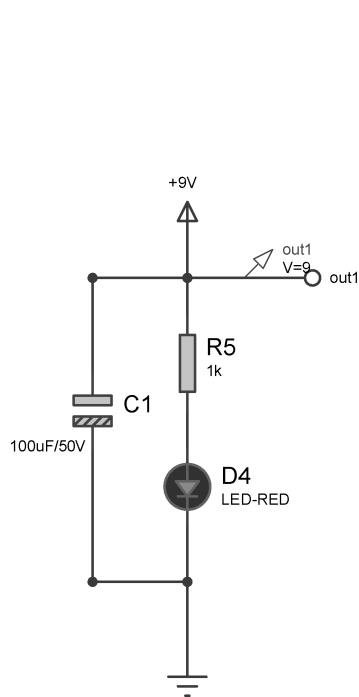


图 17-2 前置电路仿真图

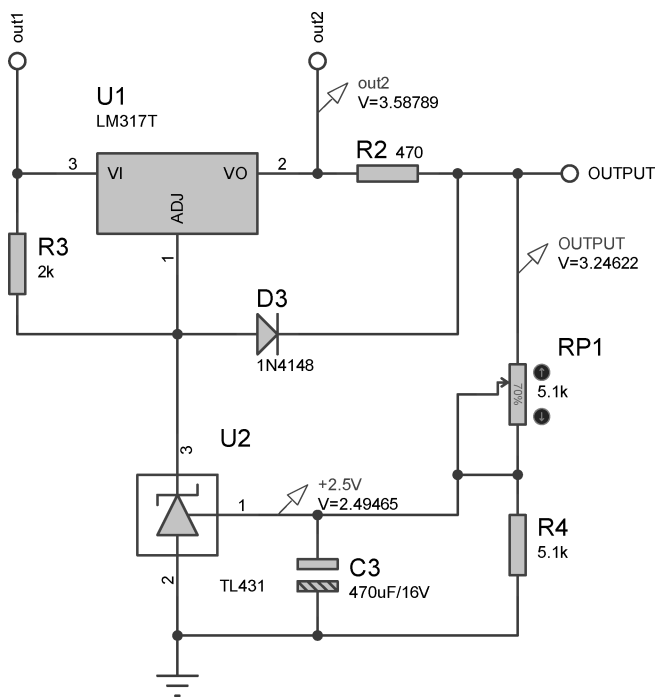


图 17-3  $R_{p1}$  处于位置 1 时可调稳压电路仿真图

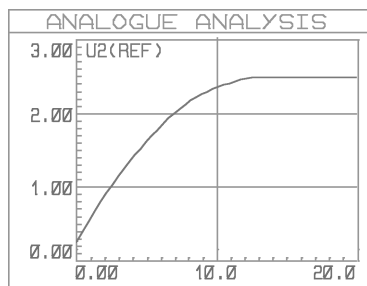


图 17-4 基准电压输出波形

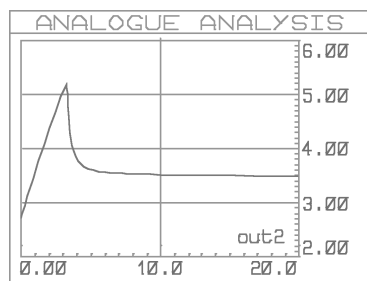


图 17-5 稳压器输出波形

如上所示，由 TL431 产生的基准电压稳定在 2.5V。在电位器  $R_{p1}$  处于位置 1（70%）时，三端稳压器输出端 out2 输出 +3.59V 直流电压。此时电路输出端 OUTPUT 可输出大小为 +3.25V 的恒压。

利用输出的恒流与恒压给电池充电，这里用 10 000 $\mu$ F 的电解电容模拟电池，其内阻为 10 $\Omega$ 。充电过程仿真如图 17-7 所示。在充电过程中由于 out2 端与节点存在足够的压降，此时指示灯亮起。由于充电作用  $R_1$  处电压不断增大，最终使得 out2 端与节点处压降为零，指示灯熄灭。监视充电电池两端电压如图 17-8

所示。可见电池充电完毕时两端电压值从 0 增至 2.72V。

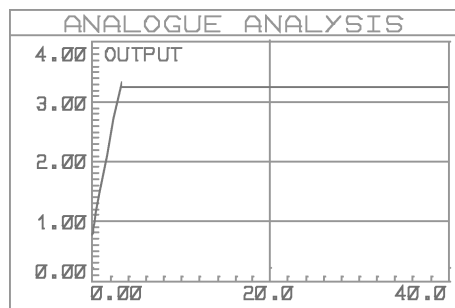


图 17-6 恒压输出波形

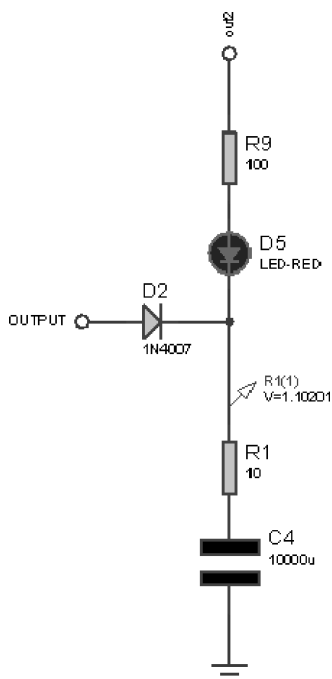


图 17-7 充电及显示电路

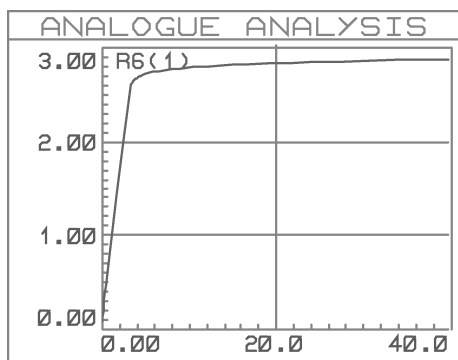


图 17-8 充电电池电压

将  $R_{p1}$  调节至位置 2 (20%) 处, 三端稳压器调整端电压改变, 导致输出端 out2 电压减小。除此之外, 此时由于电位器连入阻值改变, 输出恒压与恒流增大。仿真结果如图 17-9 所示。

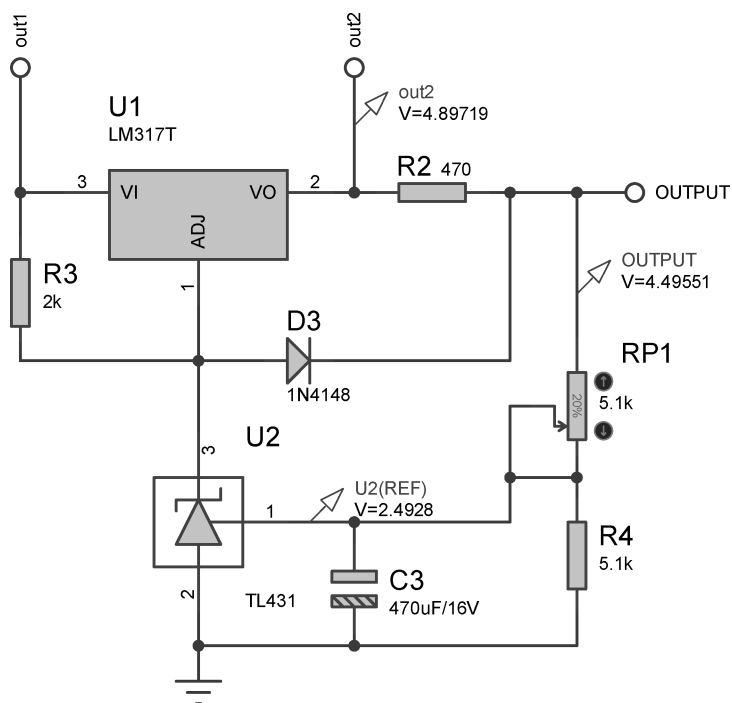


图 17-9  $R_{p1}$  处于位置 2 时可调稳压电路仿真图

根据式 (17-1) 计算, 此时输出恒压约为 4.5V。下面用仿真验证结果, 各端口仿真输出波形如图 17-10 ~ 图 17-12 所示。

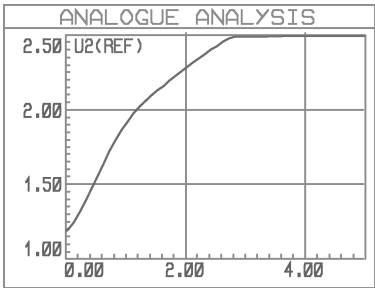


图 17-10 基准电压输出波形

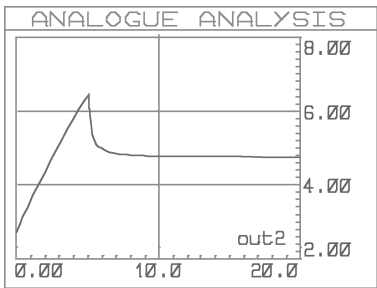


图 17-11 稳压器输出波形

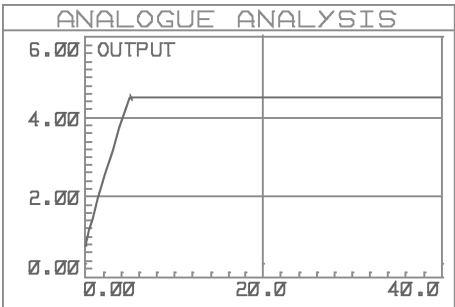


图 17-12 恒压输出波形

如上所示, 由 TL431 产生的基准电压稳定在 +2.5V。在电位器  $R_{p1}$  处于位置 2 (20%) 时, 三端稳压器输出端 out2 输出 +4.9V 直流电压。可见, 此时电路输出端 OUTPUT 可输出大小为 +4.5V 的恒压。

$R_{p1}$  处于位置 2 (20%), 电源内阻为  $10\Omega$ , 充电过程仿真如图 17-13、图 17-14 所示。

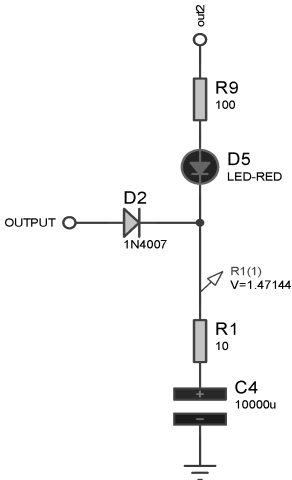


图 17-13 充电过程及显示电路 (一)

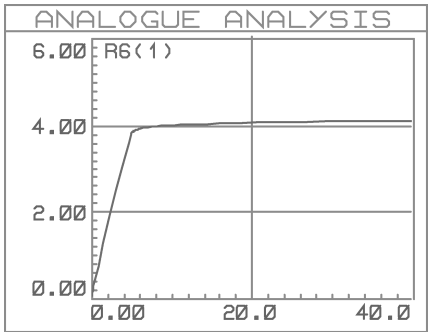


图 17-14 充电过程中电池两端电压 (一)

如图 17-13 与图 17-14 所示，充电时 LED 灯  $D_5$  发光，电池两端电压逐步逼近充满时，充电电流慢慢减小，电路上 LM317 输出端与输出端之间的电压也慢慢下降，使得  $D_5$  熄灭。随后，将电源内阻调整为  $100\Omega$ ，充电过程仿真如图 17-15、图 17-16 所示。

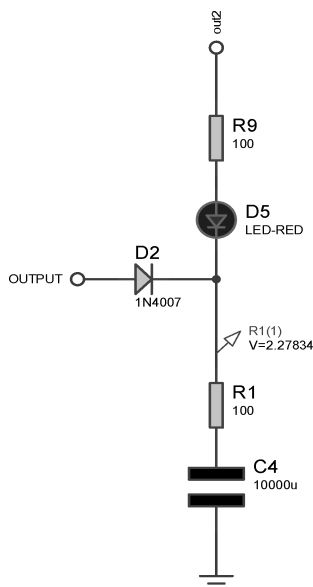


图 17-15 充电过程及显示电路（二）

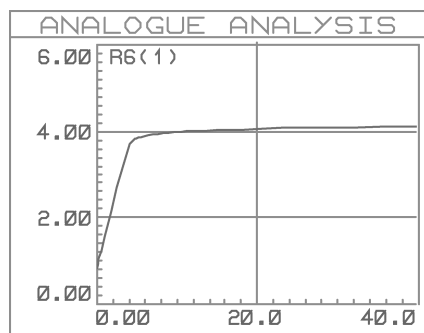


图 17-16 充电过程中电池两端电压（二）

当加在电路输出两端的负载  $R_L$  改变至  $100\Omega$  时，同样的，充电时 LED 灯  $D_5$  发光，电池充电达到充满的所需时间变长，充电完毕后电流会逐步减小。电路上 LM317 输出端与输出端之间的电压下降，导致  $D_5$  熄灭。

可见，使  $R_{PI}$  置于位置 2（20%）时，电路可输出 4.5V 恒定直流电压，实现了充电恒压可调功能，且输出值不随负载变化而变化。所以，可知本电路为恒压源充电电路。

整体电路原理图如图 17-17 所示。

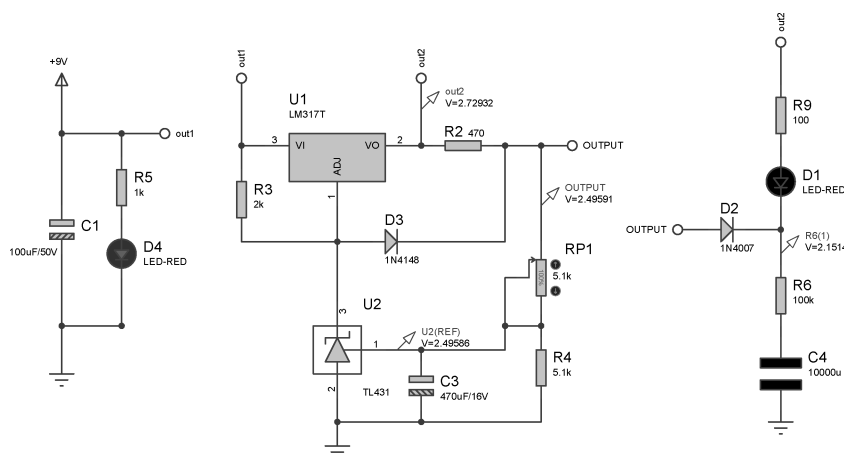


图 17-17 整体电路原理图

经过实际测试，输入 +9V 电压，适当调节电位器  $R_{P1}$ ，可将电池两端电压输出为恒定可调 2.66 ~ 5.08V。设计要求输出稳定电压值 2.5 ~ 5.25V 对电池进行充电，实测符合设计要求。



**PCB 版图**（见图 17-18）

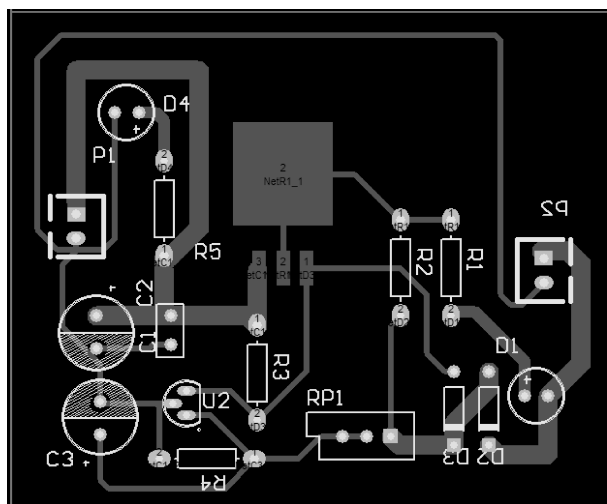


图 17-18 PCB 版图



**实物测试**（见图 17-19、图 17-20）

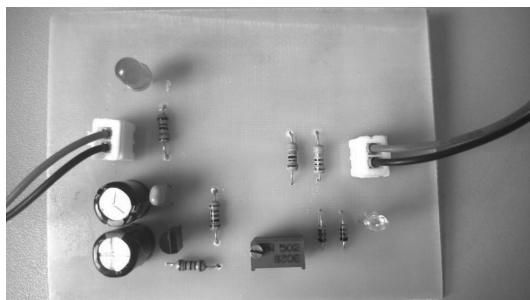


图 17-19 恒压源充电电路实物图

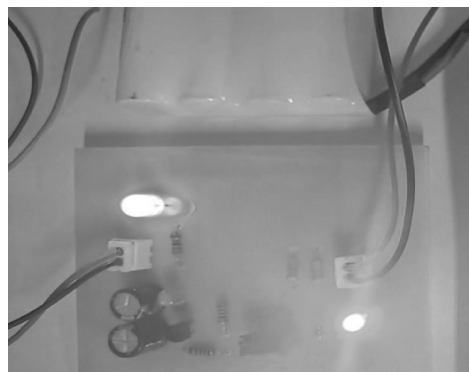


图 17-20 恒压源充电电路测试图



## 项目总结

恒压源的实质是利用器件对电压进行反馈，动态调节设备的供电状态，从而使得电压趋于恒定。只要能够得到电压，就可以有效形成反馈，从而建立恒压源。再用三极管、LED 等构成充电指示电路，反映电池的充电情况。按照这样的方法，本项目设计了一个简单的恒压源充电电路，在一定的电压范围内实现对充电电池充电，要求能够设定输出恒定电压值，并且输出电压在  $2.5\text{V} \sim 5.25\text{V}$  之间可调。LED 指示灯反映充电情况。利用 LM317 与 TL431 实现对充电电池的恒定电压充电。



## 思考与练习

(1) 为什么采用 LM317？除了采用 LM317 还可以用什么？用哪个更好？

**答：**LM317 是可调节三端正电压稳压器，在输出电压范围为  $1.2 \sim 37\text{V}$  时能够提供超过  $1.5\text{A}$  的电流。除了采用 LM317 外，还可以采用 7805。两种电路构成一致，但恒流效果 LM317 更好，前者是固定输出稳压 IC，后者是可调输出稳压 IC，两种芯片的售价又相近，采用 LM317 才更为合理。

(2) 什么是恒流充电？其主要应用有哪些？

**答：**电流维持在恒定值的充电称为恒流充电。它是一种广泛采用的充电方法。蓄电池的初充电、运行中蓄电池的容量检查、运行中牵引蓄电池的充电以及蓄电池极板的化成充电，多采用恒流或分阶段恒流充电。此法的优点是可以根据蓄电池的容量确定充电电流值，直接计算充电量并确定充电完成的时间。

(3) 电路中二极管的作用是什么？

**答：**电路中的二极管是保护二极管。在电路短路时会产生较大的电流，为了避免造成元器件的损坏，应选用 1N4000 系列的二极管。



## 特别提醒

(1) 本项目为恒压源充电电路设计，切勿使用交流电源，否则会损坏电路。

(2) 注意稳压管是有极性的，焊接时要注意极性，否则电路功能将出现混乱。

## 项目 18 压控恒流源电路设计

压控恒流源是一种常用可控恒流源。与恒压的概念相比，恒流的概念难理解一些，因为日常生活中恒压源是多见的，蓄电池、干电池是直流恒压电源，因为它们的输出电压是基本不变的，是不随输出电流的大小而大幅变化的。而当负载电阻小到一定的程度，使电源输出电流达到恒流值时，电源才真正处于恒流工作状态，随着负载电阻值的逐步减小，输出电压也按规律下降，以保持输出电流的恒定不变。这就是恒流的概念。本项目的目的就是设计一个恒流源，其输出恒流大小可通过调节输入电压来控制。



### 设计任务

设计一个简单的基准电压可调电源电路和恒流源电路，通过调节输入电压来控制输出电流的大小，其大小为  $0 \sim 45\text{mA}$ 。



### 基本要求

输出电流大小可调，且不因负载变化而变化。



### 总体思路

通过 TL431 设计一个可调电源电路，它的输出电压用可调电位器就可以在  $0 \sim 100\text{mV}$  范围内任意设置，并用运放和三极管设计恒流源输出电路。

这里恒流源通常使用一个运放作为反馈，同时使用场效应管避免三极管的 b-e 电流导致的误差。恒流源有个定式，就是利用一个电压基准，在电阻上形成固定电流。有了这个定式，恒流源的搭建就可以扩展到所有可以提供这个“电压基准”的器件上，常用的电压基准有 TL431。设计电路首先产生一个基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用，根据变压器输出端之间的关系，保持输出电流的恒定。



### 系统组成

压控恒流源电路整个系统主要分以下两个部分。

- ☺ 基准电压输出电路：产生恒流源需要利用一个电压基准，在电阻上形成一定电流，这里利用 TL431 产生基准电压。
- ☺ 恒流源产生电路：利用电压跟随器，产生恒定输出电压，稳定电压除以电位器阻值产生可调电流。

系统模块框图如图 18-1 所示。

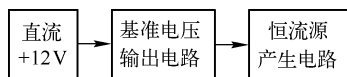


图 18-1 系统模块框图



## 模块详解

### 1. 基准电压输出电路

基准电压  $V_{REF}$  (2.5V) 由 TL431 产生，所以当在 REF 端引入输出反馈时，器件可以通过从阴极到阳极很宽范围的分流控制输出电压。这个基准电压由  $R_3$  和  $R_{V1}$  分压后输出设置 out1 点电位，来调节恒流源所需输出电流。其输出的基准电压为

$$V_o = (1 + R_1/R_2) V_{REF} \quad (18-1)$$

选取  $R_{V1}$  阻值为 2k $\Omega$  并调整至 30% 处，基准电压输出电路仿真图如图 18-2 所示。

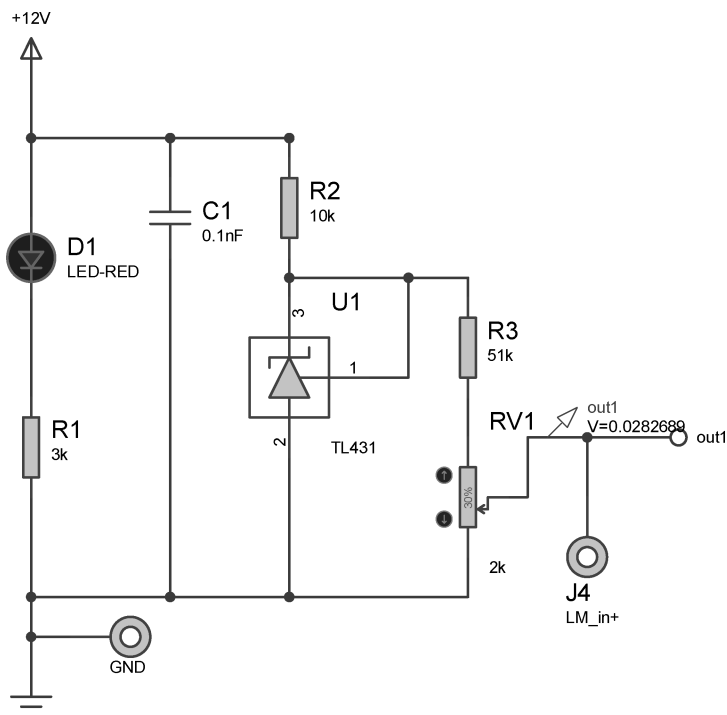


图 18-2  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出电路仿真图



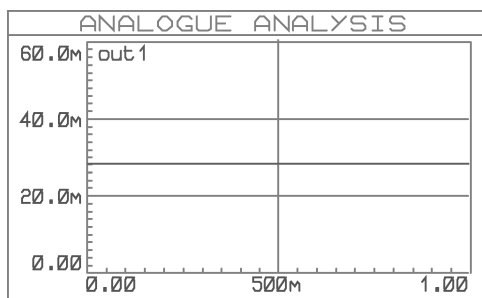


图 18-3  $R_{V1}$  处于位置 1 时基准电压输出波形

稳定的 28.3mV 基准电压至运算放大器的输入端。根据虚短关系，LM<sub>in</sub> + 端的电压与 FB 端电压相等，电压值为 28.3mV。则当场效应管导通时，电流  $I_{out}$  可以根据式（18-2）计算：

$$I_{out} = V_{REF}/R_2 \quad (18-2)$$

则输出电流可计算，大小为 14.9mA。

恒流源产生电路空载仿真图如图 18-4 所示。

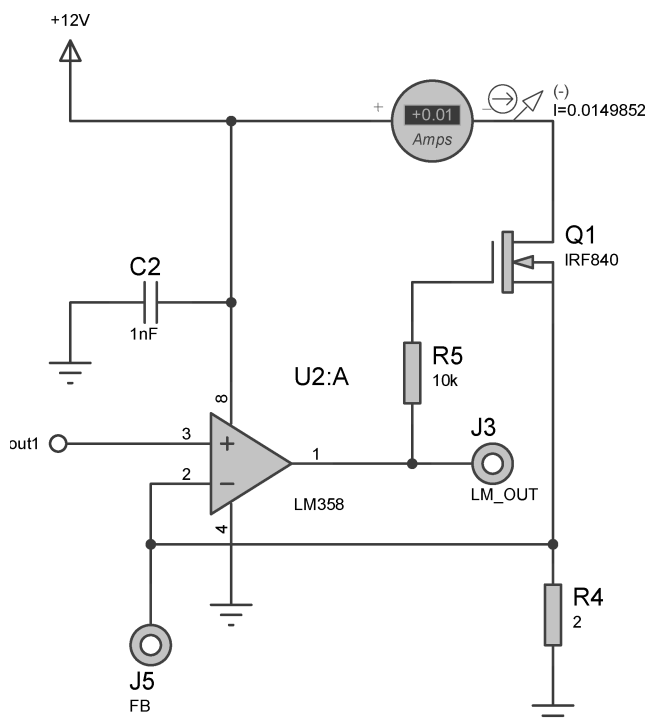


图 18-4  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载仿真图

电路中场效应管选择 IRF840，特点是噪声低、输入阻抗高、开关速度快。典型应用为：电子镇流器、电子变压器、开关电源等。

IRF840 为 N 型场效应管，其栅极串联电阻决定场效应管的开通速度，由于电压从三极管负端接入，所以输出电流同电压成反比关系，电压越大，输出电流越小。N 沟道增强

型的工作条件是：只有当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。

电路空载输出波形如图 18-5 所示。

如图 18-4 所示，当  $R_{V1}$  处于位置 1（30%）时，电路空载输出大小为 14.9mA 的直流电源。

将基准电压输出电路中  $R_{V1}$  调整到位置 2（90%），改变了  $R_3$  与  $R_{V1}$  的分压比例，此时 out1 当前输出达到 84.8mV 直流电压，如图 18-6 所示。

$R_{V2}$  处于位置 2 时 out1 端输出波形如图 18-7 所示。

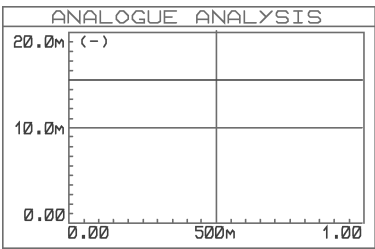


图 18-5  $R_{V1}$  处于位置 1 时恒流源产生电路空载输出波形

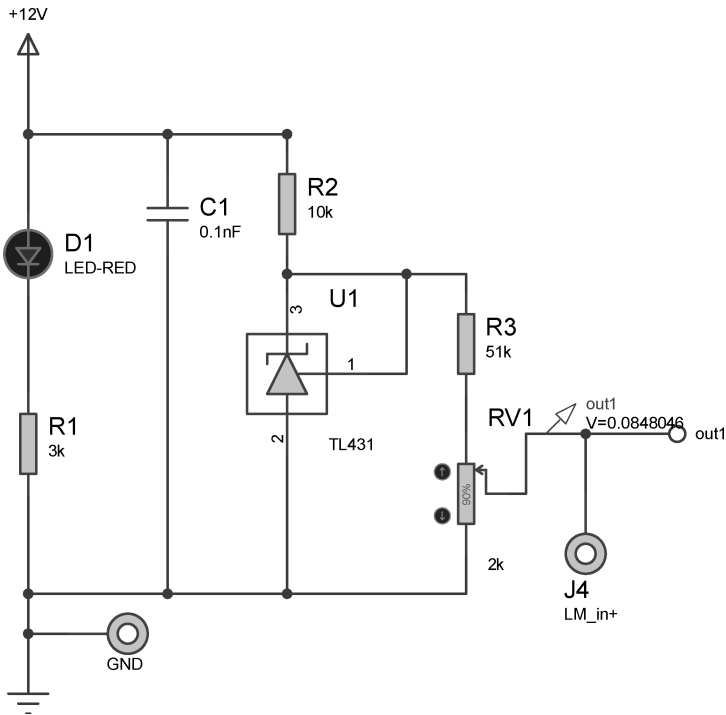


图 18-6  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载仿真图

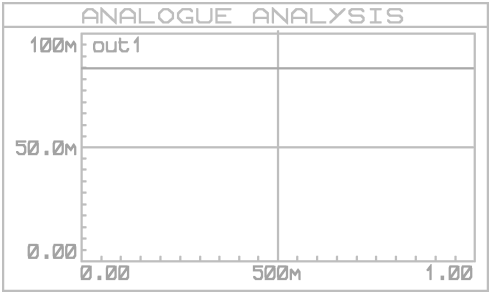


图 18-7  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形

在  $R_{V1}$  处于位置 2（90%）时，场效应管同样导通，电流  $I_{out}$  可以根据式（18-2）计

算，其大小为 43.2mA，电路仿真图如图 18-8 所示。

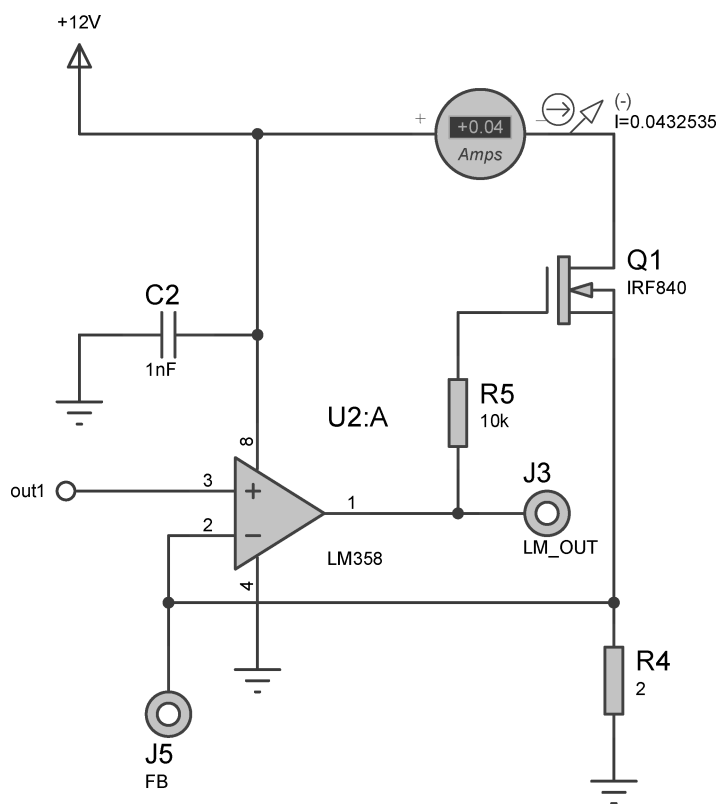


图 18-8  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载仿真图

$R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形如图 18-9 所示。

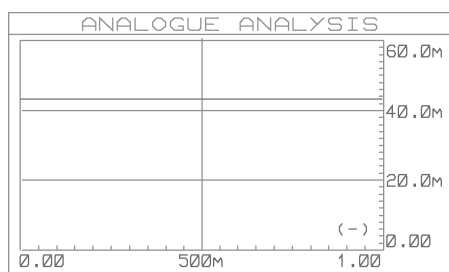


图 18-9  $R_{V1}$  处于位置 2 时恒流源产生电路空载输出波形

恒流源空载输出电路原理图如图 18-8 所示，图中为电源电路空载仿真，当前  $R_{V1}$  处于位置 2（90%）时，则电流输出值为 43.2mA。

为了验证本设计是否为恒流电路，在恒流输出端加入  $50\Omega$  电阻，测试电路加入负载时能否保证输出不变。

从图 18-10 的仿真结果可以看到，稳流电源的输出并不会因为加入负载而改变，从而验证了本设计确实为恒流源输出电路。

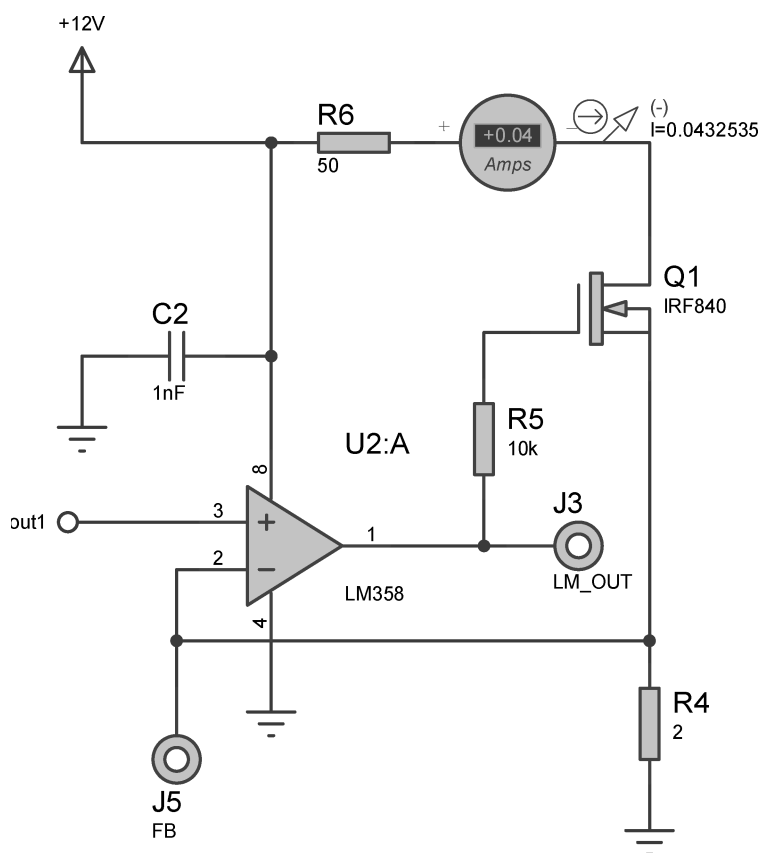


图 18-10 恒流源产生电路加负载仿真图（一）

加入  $50\Omega$  负载后，压控恒流源输出波形如图 18-11 所示。

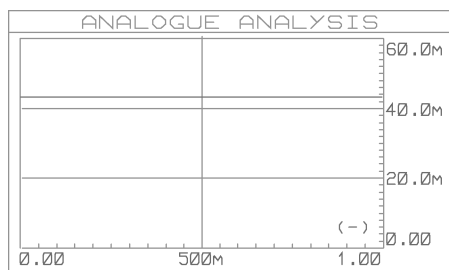


图 18-11 恒流源产生电路加负载输出波形（一）

如图 18-11 所示，在电路加入  $50\Omega$  负载时，测试负载电流输出为  $43.2\text{mA}$ ，与空载时电路输出相同。

再次调整负载大小，将负载调整为  $200\Omega$ ，仿真结果如图 18-12 所示。

用图表显示当前恒流输出波形，如图 18-13 所示，可见压控恒流源电路输出值一直稳定在  $43.2\text{mA}$ ，即电源此时具有较好的稳定性。

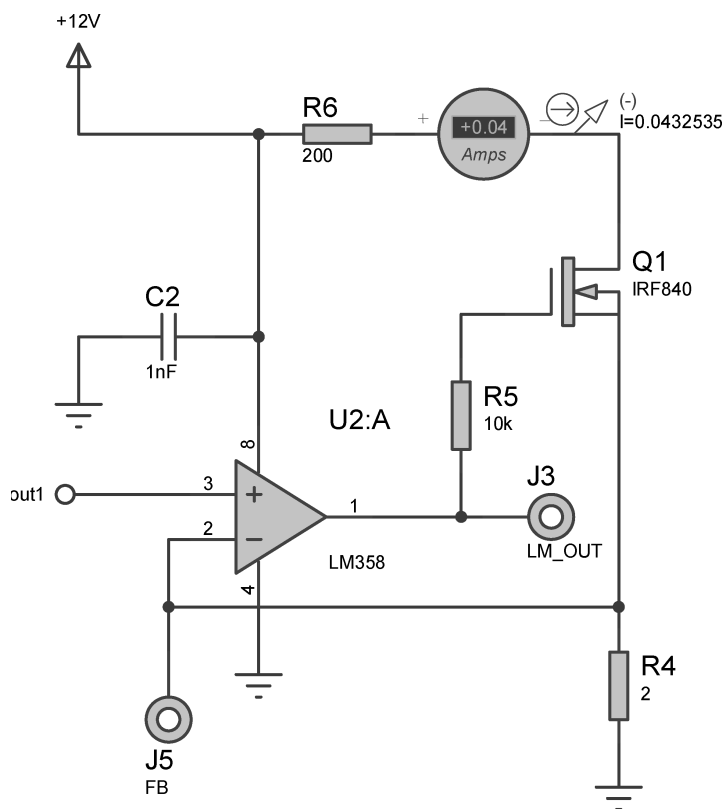


图 18-12 恒流源产生电路加负载仿真图（二）

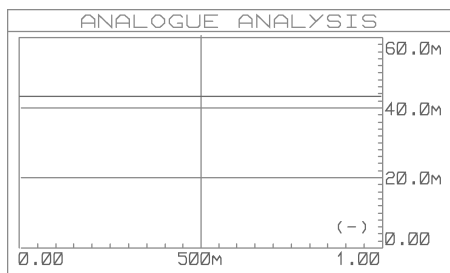


图 18-13 恒流源产生电路加负载输出波形（二）



#### 注意

同之前固定式稳定电源的设计类似，场效应管的导通条件为当栅极电位低于漏极电位时，才趋于导通。所以当负载过大时，由于流过的电流为恒流，会导致栅极电压与漏极电位逐渐相等，最终导致场效应管截止。此时则不会输出稳定恒流。

压控恒流源电路的整体电路原理图如图 18-14 所示。

对电路板进行实际测试，调节电位器，测试电流输出为 0 ~ 47mA，设计要求输出电流 0 ~ 45mA，实测基本符合设计要求。

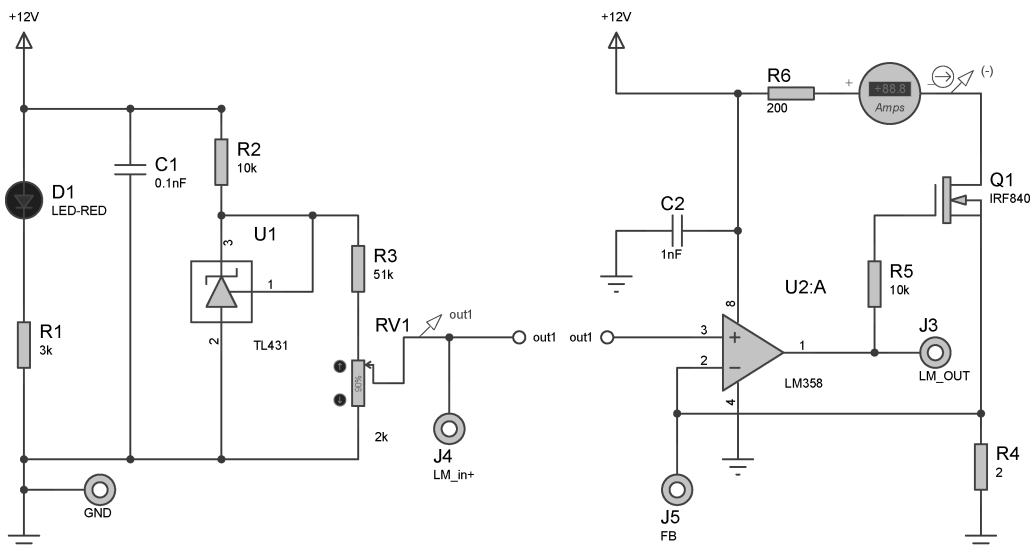


图 18-14 整体电路原理图



PCB 版图 (见图 18-15)

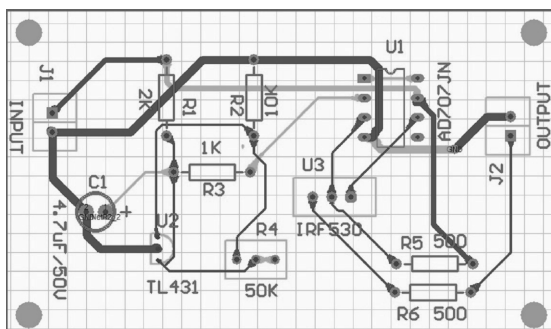


图 18-15 PCB 版图



实物测试 (见图 18-16、图 18-17)

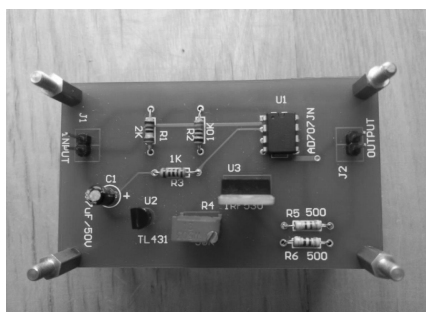


图 18-16 压控恒流源电路实物图

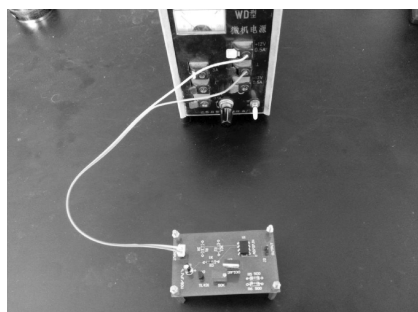


图 18-17 压控恒流源电路测试图



## 项目总结

本项目任务是设计一个简单的压控恒流源电路，使其输出  $0 \sim 45\text{mA}$  的恒定电流。恒流源是一种宽频谱、高精度交流稳流电源，具有响应速度快、恒流精度高、能长期稳定工作、适合各种性质负载（阻性、感性、容性）等优点。一般用于检测热继电器、塑壳断路器、小型短路器及需要设定额定电流、动作电流、短路保护电流等生产场合。设计电路首先产生一个基准电压输入到运算放大器的输入端，通过负反馈作用，根据变压器输出端之间的关系，保持输出电流的恒定。在仿真成功的基础上，对电路板进行实际测试，调节电位器，测试电流输出为  $0 \sim 47\text{mA}$ ，设计要求输出电流为  $0 \sim 45\text{mA}$ ，实测基本符合设计要求。



## 思考与练习

### (1) TL431 两端并联电容的作用？

**答：**首先，稳压二极管在电路中工作时，其自身会产生一种不规则的周期性噪声，这种不规则的噪声称为齐纳噪声。尽管齐纳噪声的电平不高，但它却是影响稳压二极管输出特性的重要原因之一。为了减小稳压二极管的输出噪声，可用一只电容器与稳压二极管并联使用，这样，并联的电容就可以吸收稳压二极管的齐纳噪声，以改善稳压二极管的输出特性。另外，并联在稳压二极管上的电容还可以吸收电源的纹波，使得稳压二极管的输出电压更加平稳。其次，当稳压二极管与电容并联使用时，由于电容的充电作用，会使稳压二极管输出电压的建立时间增加，使输出电压缓慢地上升，不过，这仅是接通电源瞬间的情况。正常工作时，稳压二极管的输出电压是完全稳定的。

### (2) 并联电容大小如何确定？

**答：**当 TL431 与电容并联，其选用的容量值不适合时，有时不但起不到好的作用，反而会产生振荡现象，这是因为流过 TL431 的电流和电容的容量有一定的关系。实验表明，如果用容量为  $1 \sim 3\mu\text{F}$  的电容器并联在 TL431 上，很有可能会使 TL431 产生振荡。因此，当 TL431 与电容并联使用时，应使 TL431 并联的电容器值大于  $3\mu\text{F}$  或小于  $1\mu\text{F}$ ，对此必须引起注意。

### (3) 对恒流源电路选用器件有什么要求？

**答：**恒流源作为信号检测的最前级，它的稳定度直接影响整个系统的精度，因此如何设计高精度的恒流源是整个系统的关键。为了得到精度更高的恒流源，必须对选用器件的型号进行筛选，尽量采用低温漂元件，减少器件带来的温度漂移。

## 项目 19 数控直流稳流电源电路设计

随着科学技术的发展，数控直流电源在人们的工作、科研、生活、学习中扮演的角色越来越重要。在我们使用的电子电路中，多数都需要稳定的直流电源进行供电。直流稳压电源作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。而恒流源是一种宽频谱、高精度交流稳流电源，具有响应速度快、恒流精度高、能长期稳定工作、适合各种性质负载（阻性、感性、容性）等优点。本项目采用 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 输出可以随按键触发而加减的 4 位二进制数字量，通过数模转换电路将数字量转换为模拟电压量，这个模拟电压量就是一个可控的基准电压量。基准电压输入到运算放大器的同相输入端，通过负反馈作用，使比较放大器的输出端电压与输入端电压相等，该电压除以固定电阻即可得到随电压变化的可控电流。



### 设计任务

设计一个恒流电源电路，并且能通过按键控制电路输出的恒定电流值。



### 基本要求

- ☉ 按下 ADD 键，电源电路输出电流值增加。
- ☉ 按下 DEC 键，电源电路输出电流值减小。
- ☉ 电源电路输出最小电流为 5.28mA，最大电流为 340mA，共 6 个挡位的电流输出值。



### 总体思路

恒流源是一种宽频谱、高精度交流稳流电源，具有响应速度快、恒流精度高、能长期稳定工作、适合各种性质负载（阻性、感性、容性）等优点。一般用于检测热继电器、塑壳断路器、小型短路器及需要设定额定电流、动作电流、短路保护电流等生产场合。恒流源有个定式，就是利用一个电压基准，在电阻上形成固定电流。本项目采用 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 输出可以随按键触发而加减的 4 位二进制数字量，通过数模转换电路将数字量转换为模拟电压量，这个模拟电压量就是一个可控的基准电压量。基准电压输入到运算放大器的同相输入端，通过负反馈作用，使比较放大器的输出端电压与输入端



电压相等，该电压除以固定电阻即可得到随电压变化的可控电流。

## 系统组成

数控直流稳流电源电路分为以下四个部分。

- ⑤ 整流滤波稳压电路：为后续各模块电路供电。
- ⑤ 数（字量）控（制）电路：输出可以随按键触发而加减的4位二进制数字量。
- ⑤ 数模转换电路：将74LS193输出的数字量转换为模拟量，该模拟电压为恒流源输出电路提供可控基准电压。
- ⑤ 数控恒流源产生电路：利用电压跟随器，使运放输出可控电压，除以固定电阻即产生可控电流输出。

系统模块框图如图 19-1 所示。

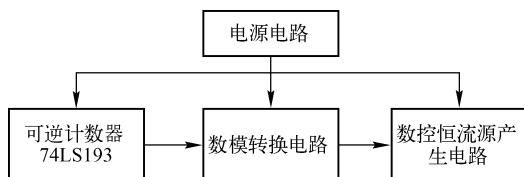


图 19-1 系统模块框图

## 模块详解

### 1. 整流滤波稳压电路

整流滤波稳压电路由带中心抽头的变压器、桥式整流电路、电容滤波电路、三端稳压器 7818、7918、7809、7909、7805 以及滤波电容组成。变压器将市电降压，利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容（1000 $\mu$ F）用于电源滤波，其后并入电解电容（4.7 $\mu$ F）用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容（4.7 $\mu$ F）用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容（0.1 $\mu$ F）用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰。经过滤波后三端稳压器 7818 输出端为 +18V 的电压，7918 输出端为 -18V 的电压，7809 输出端为 +9V 电压，7909 输出端为 -9V 电压，7805 输出端为 +5V 电压。与此同时，在各供电电源处加入测试点以便调试。整流电路原理图如图 19-2 所示。

整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 19-3 所示。

交流电压设定如图 19-4 所示，为了模仿市电经降压后的输入电压，将电压输入设置为 50V，频率设置为 50Hz。

为了验证滤波电路的效果，以初步滤波电路（见图 19-5）为例进行分析。

整流电路输出用示波器监视，仿真结果如图 19-6 所示。

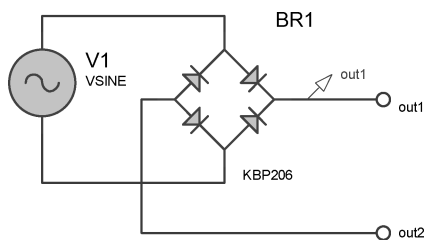


图 19-2 整流电路原理图

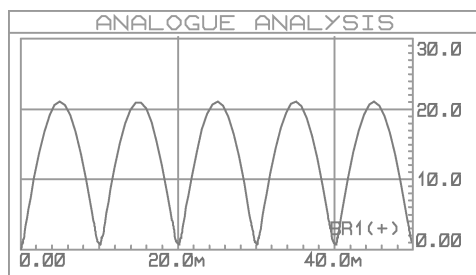


图 19-3 整流电路输出仿真图

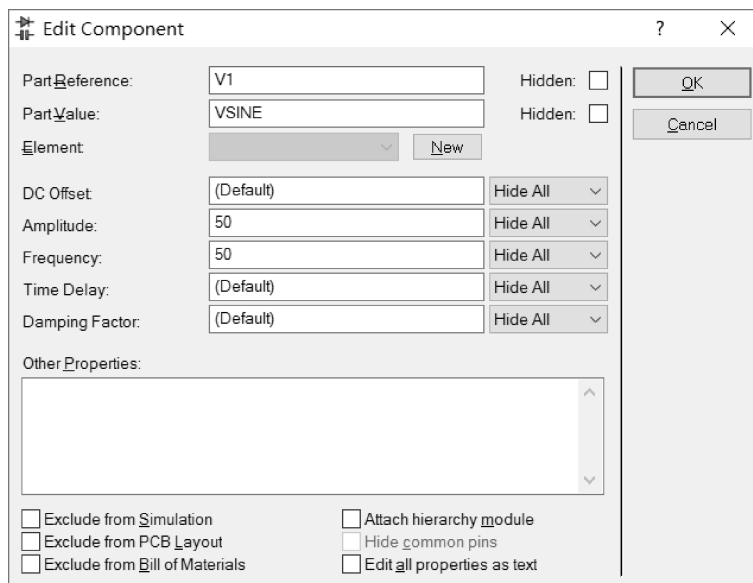


图 19-4 电压信号输入设置

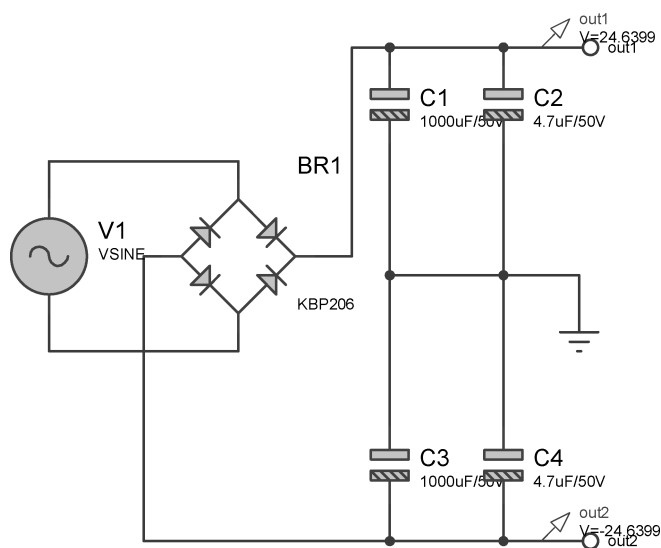


图 19-5 初步滤波电路

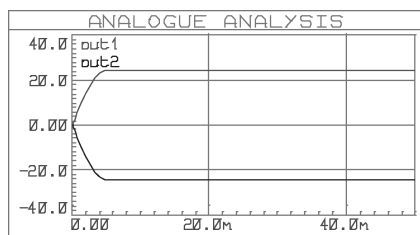


图 19-6 整流电路输出仿真图

若将  $C_1$  电容值调整为  $100\mu\text{F}$ ，如图 19-7 所示，则会导致电路输出端 out1 与 out2 处输出电压大小不等。

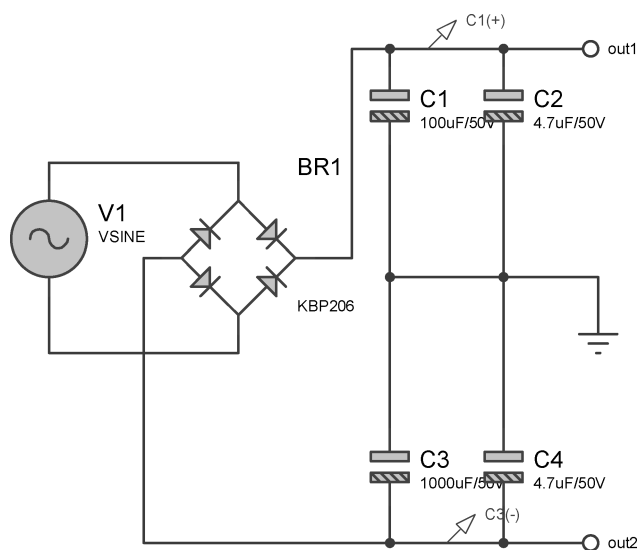


图 19-7 调节  $C_1$  后的滤波电路

在滤波电路输出端 out1 与 out2 处加入探针，用图表显示其仿真结果，如图 19-8 所示。

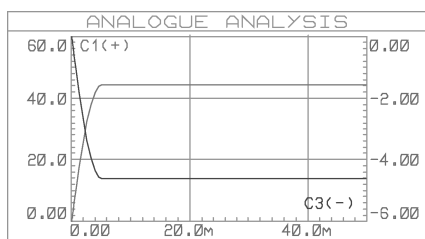


图 19-8 调节  $C_1$  后滤波电路输出仿真图

滤波电路中电容大小除影响电路的滤波效果外，还影响到电路的整流输出。若上下电路不对称，则不会输出大小相等的直流电压有效值，即不会输出大小相等的直流正负电压。

整流电路的 out1、out2 处输出的电压信号经过三端稳压器 7818、7918，可得到稳定的

$\pm 18\text{V}$  直流电压信号，仿真结果如图 19-9 所示。

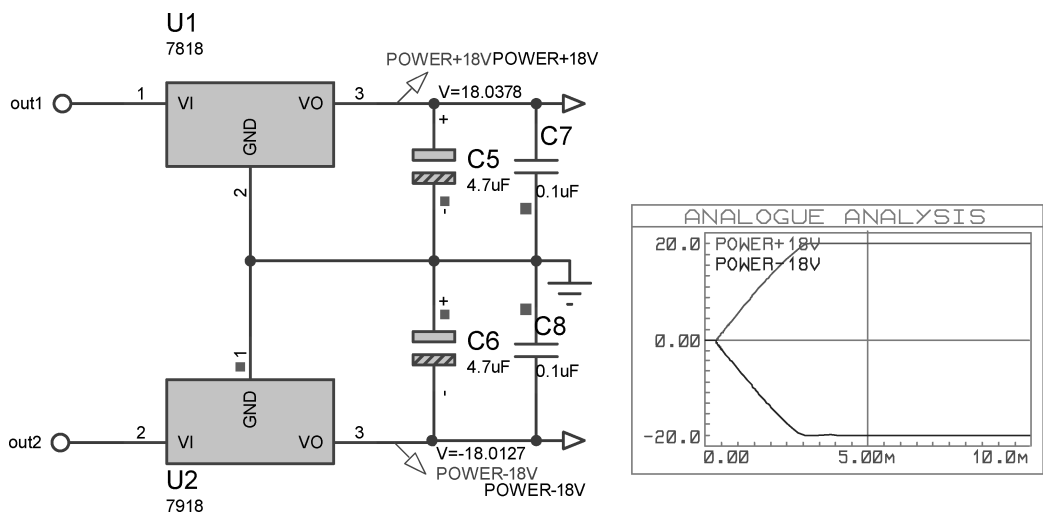


图 19-9 稳压器 7818 和 7918 输出仿真

稳压器 7818、7918 输出的  $\pm 18\text{V}$  电压通过稳压器 7809、7909 进一步稳压，可得到  $\pm 9\text{V}$  的直流电压。其中 7809 输出的  $+9\text{V}$  电压再经过稳压器 7805，在 7805 的输出端得到  $+5\text{V}$  的稳定直流供电电压。仿真结果与输出波形如图 19-10、图 19-11 所示。

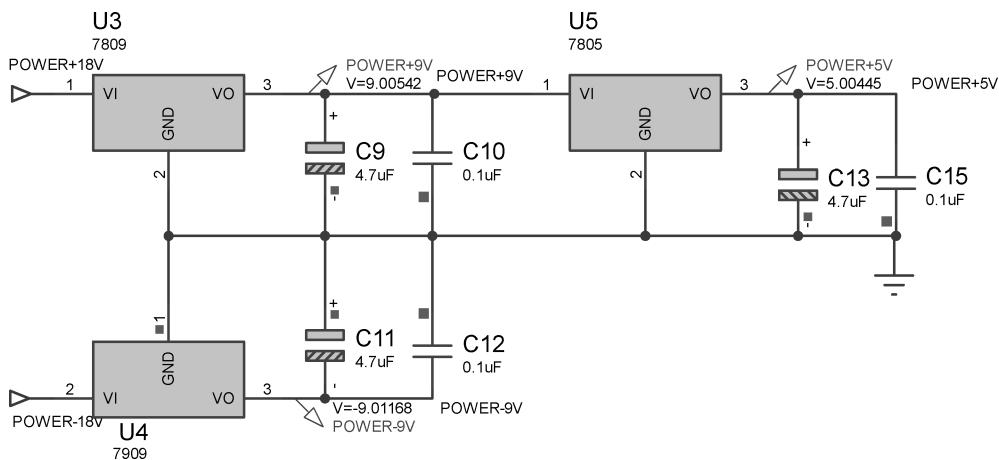


图 19-10 稳压器 7809、7909 和 7805 稳压仿真

本设计通过灵活运用多个稳压器，将市电  $220\text{V}$  交流电分别转化为  $\pm 18\text{V}$ 、 $\pm 9\text{V}$ 、 $+5\text{V}$  的直流电压，并以此来对整个电路进行供电。

## 2. 数字量控制电路

数字量控制电路由按键、上拉电阻以及 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 芯片组成。由于本设计中只实现加计数、减计数功能，故将置数端 PL 置为无效电平高电平，清除端 MR 置为无效电平低电平。计数输入端 D0 ~ D3 接地，表明计数器从 0000 开始计数。当加计数端 UP 有上升沿信号并且减计数端为高电平时，计数器功能为加计数。当减计数

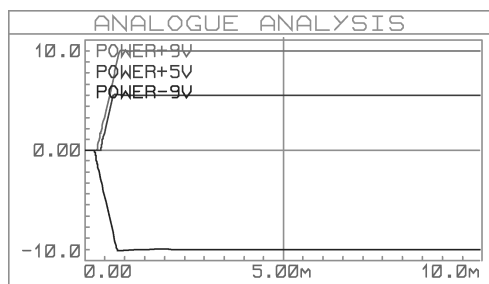


图 19-11 稳压器 7809、7909 和 7805 输出波形

端 DN 有上升沿信号并且加计数端为高电平时，计数器功能为减计数。当电路中 ADD 按键与 DEC 按键都没有按下时，74LS193 的 UP 和 DN 引脚为高电平；当 ADD 或 DEC 按键按下时，相应引脚（UP 或 DN）瞬间变为低电平；按键弹起时相应引脚又变为高电平，从而产生上升沿信号使计数器工作。74LS193 功能表如表 19-1 所示，数字量控制电路仿真图如图 19-12 所示。

表 19-1 74LS193 功能表

MR	PL	UP	DN	MODE
H	X	X	X	Reset
L	L	X	X	Preset
L	H	H	H	No change
L	H		H	Count Up
L	H	H		Count Down

电路中，可逆加减计数器 74LS193 的 UP 和 DN 引脚在无按键（按键指 ADD 与 DEC）按下时均为高电平，初态如图 19-12 所示。

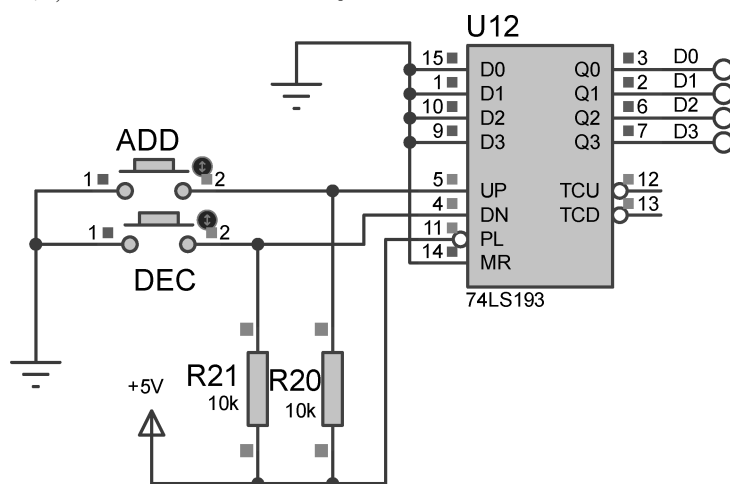


图 19-12 数字量控制电路仿真图

按下一次 ADD 键时，可逆加减计数器 74LS193 的加计数端 UP 检测到上升沿信号，则当前计数器功能为加计数。输出引脚由低位到高位分别为 D0、D1、D2、D3。这里按下两次 ADD 键，当前输出值为 0010，如图 19-13 所示。

按下一次 DEC 键时，计数端 DN 有上升沿信号并且加计数端为高电平时，计数器功能为减计数。输出引脚由低位到高位分别为 D0、D1、D2、D3。按下一次 DEC 键，当前输出值为 0001，如图 19-14 所示。

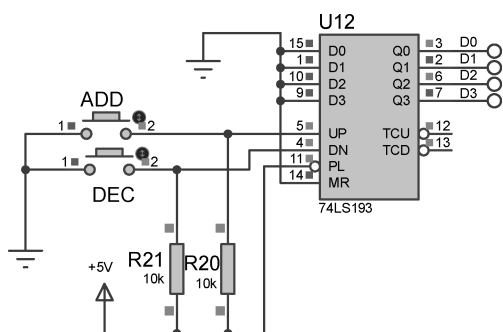


图 19-13 ADD 键控制仿真图

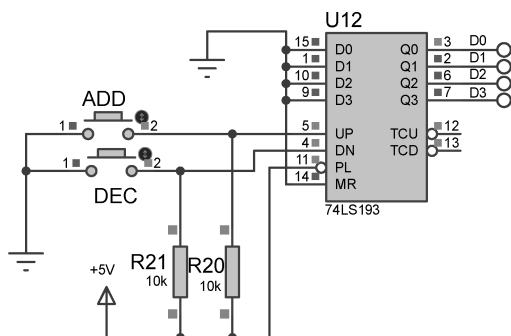


图 19-14 DEC 键控制仿真图

### 3. 数模转换电路

DAC 模块是整个系统的纽带，将控制部分的数字量 D0 ~ D3 转化成电压调整部分的模拟量。这部分电路由数模转换芯片 DAC0832 和运算放大器 LM324 组成。DAC0832 主要由 8 位输入寄存器、8 位 DAC 寄存器、8 位 DA 转换器以及输入控制电路四部分组成。8 位 DA 转换器输出与数字量成正比的模拟电流。本设计中  $\overline{WR}$  和  $\overline{XFER}$  同时为有效低电平，8 位 DAC 寄存器端为高电平“1”，此时 DAC 寄存器的输出端 Q 跟随输入端 D 也就是输入寄存器 Q 端的电平变化。该数模转换电路采用的是 DAC0832 单极性输出方式，运算放大器 LM324 使得 DAC0832 输出的模拟电流流量转化为电压量。

输出电压为

$$V_{out1} = BV_{REF}/256 \quad (19-1)$$

式中， $B$  的值为 DI0 ~ DI7 组成的 8 位二进制数； $V_{REF}$  是由电源电路提供 -9V 的 DAC0832 的参考电压。本设计中前一级数字控制电路输出为 4 位二进制数，DAC0832 中待转换的数字量 DI0、DI1 接 D0，DI2、DI3 接 D1，以此类推，将 4 位二进制数接成 8 位输入。

令当前接收的数据 D3 到 D0 为 1111，经数模转换，由 OUT1 端输出，仿真结果如图 19-15 所示。

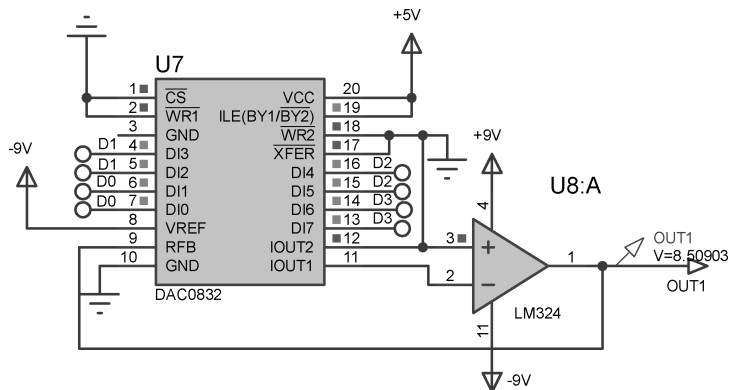


图 19-15 数模转换电路仿真图

OUT1 端输出数模转换电路结果，仿真波形如图 19-16 所示。

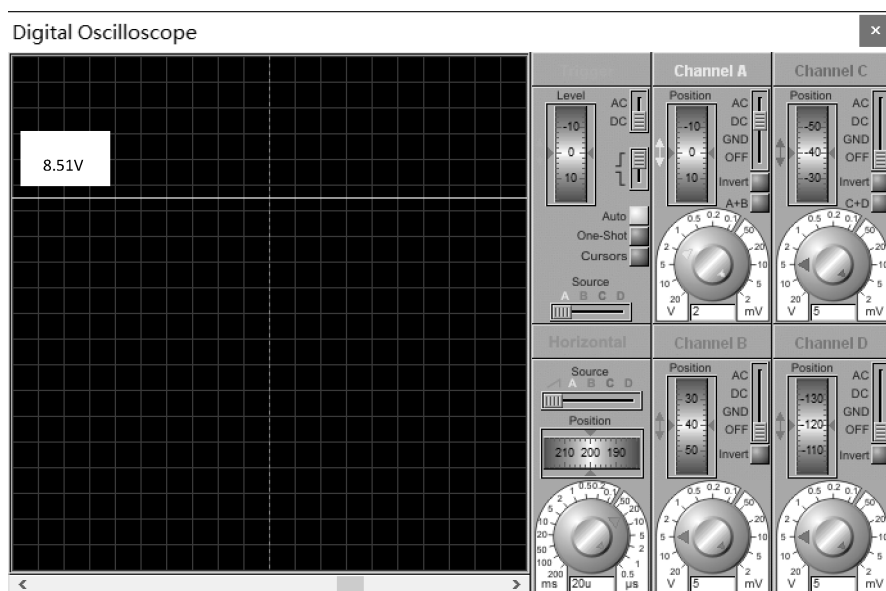


图 19-16 数模转换电路输出波形

如图 19-16 所示，4 位二进制数字量经由数模转换电路转化为模拟量输出，其转化结果为 +8.51V 直流电压输出。

#### 4. 数控恒流源产生电路

这部分电路由运算放大器 LM358 搭成的电压跟随器以及场效应管 IRF840 及相关电阻组成。IRF840 属于绝缘栅场效应管中的 N 沟道增强型。绝缘栅场效应管是利用半导体表面的电场效应进行工作的，由于它的栅极处于不导电（绝缘）状态，所以输入电阻大大提高，最高达  $10^{15}\Omega$ ，这为恒流源的输出精度打下了良好的基础。N 沟道增强型的工作条件是：只有当  $V_{GS} > 0$  时，才可能开始有  $I_o$ 。

根据虚短关系，LM358 的  $in+$  端的电压与  $R_1$  上端电压相等，电压值为前一部分数模转换电路输出的可控模拟电压值，则输出电流可以由式（19-2）求得。

$$I_o = U_{in2}/R_1 \quad (19-2)$$

式中， $U_{in2}$  为 IN2 端电压值； $R_1$  阻值为  $2\Omega$ 。

恒流源产生电路空载仿真图如图 19-17 所示。可见，当前数字量输出为 1111 时，经转换后在空载条件下可提供 +2.83A 的恒流输出。

恒流源产生电路空载输出波形如图 19-18 所示。

如图 19-8 所示，当前状态下电路空载输出为 +2.83A 稳定恒流。在电路输出端 OUTPUT 处接入  $100\Omega$  负载测试其稳压性能，仿真结果如图 19-19 所示。

电流输出端加  $100\Omega$  负载输出波形如图 19-20 所示。

可见，在恒流输出端加  $100\Omega$  负载后，恒流输出与空载相等，仍为 +2.83A。随后，在恒流源输出端处接入  $1k\Omega$  负载测试，仿真结果如图 19-21 所示。

恒流输出端加  $1k\Omega$  负载输出波形如图 19-22 所示。

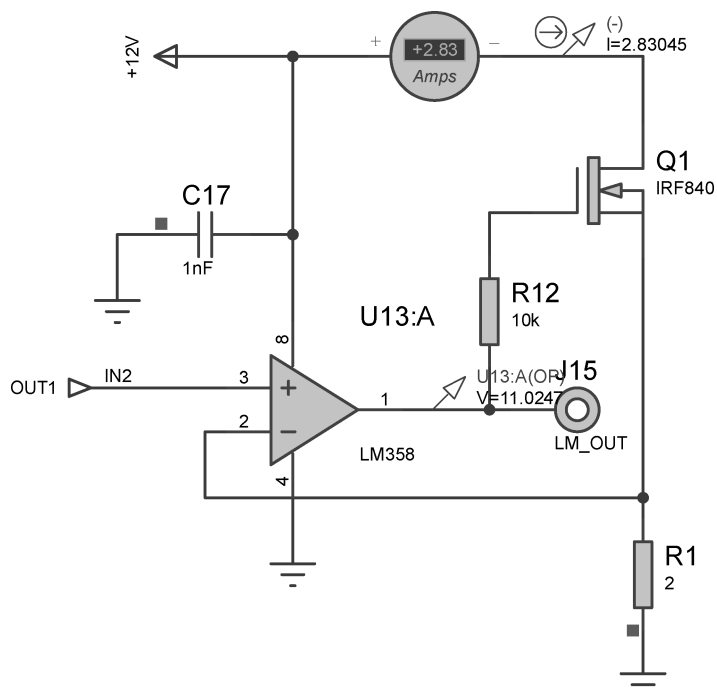


图 19-17 恒流源产生电路空载仿真图

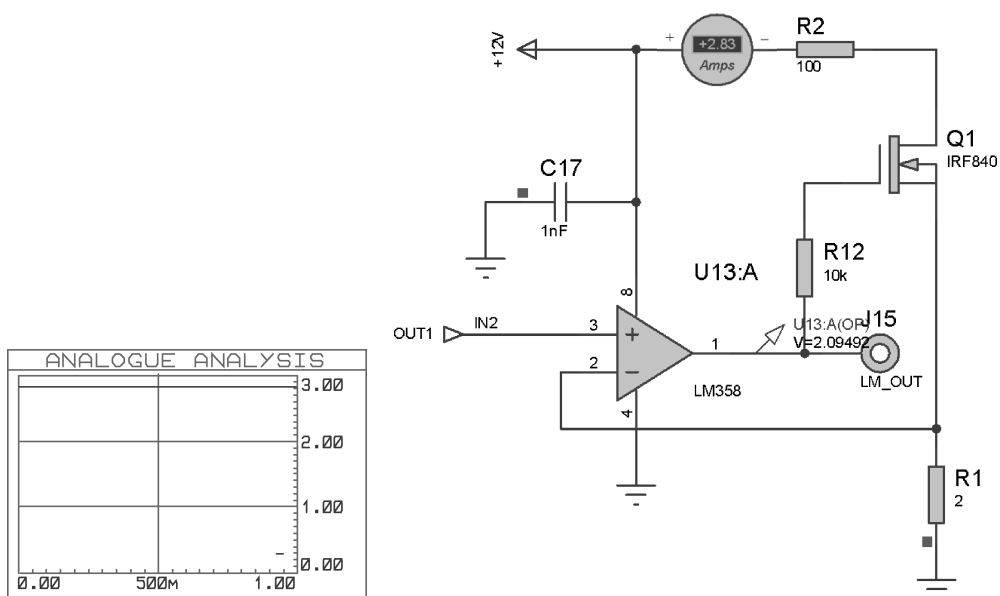


图 19-18 恒流源产生电路  
空载输出波形

图 19-19 恒流源产生电路  
负载输出仿真图（一）



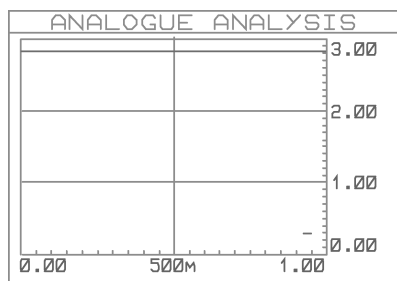


图 19-20 恒流源产生电路  
负载输出波形（一）

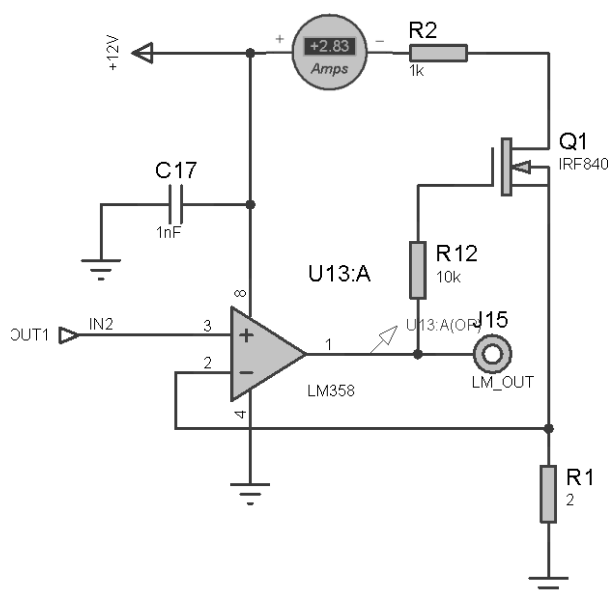


图 19-21 恒流源产生电路负载输出仿真图（二）

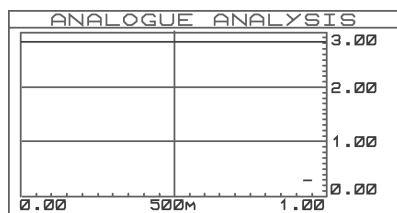


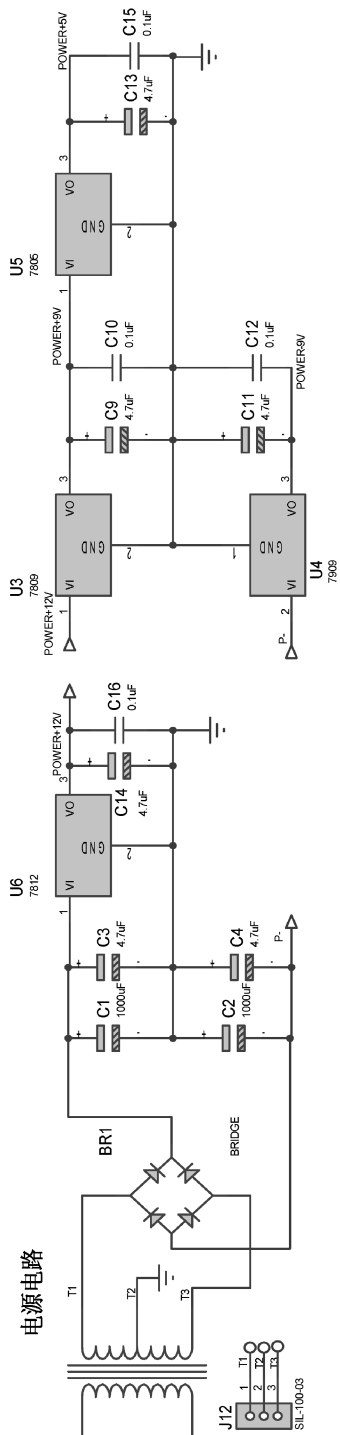
图 19-22 恒流源产生电路负载输出波形（二）

在恒流输出端加  $1\text{k}\Omega$  负载后，恒流输出仍与空载相等，其输出为  $+2.83\text{A}$ 。可知本数控直流稳流电路满足稳流电源设计条件，其输出不随负载变化而变化。

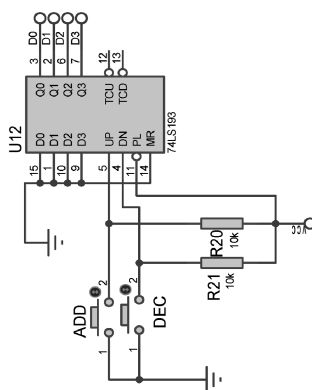
综上所述，在负载变化的情况下，本项目设计的数控直流稳流电源可以根据当前按键设定值稳定输出恒流正常工作。当输出数字量为 1111 时，输出  $2.83\text{A}$  直流电压。

## 5. 电路整体原理图（见图 19-23）

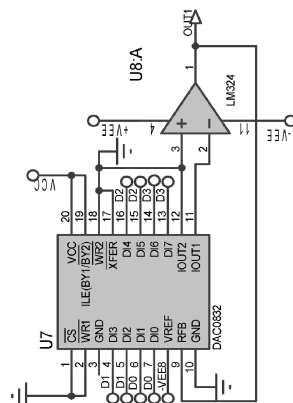
电路实际测量结果分析：上电后，可以通过如上按键方式测得电路输出的 13 个不同



数字量控制电路



数模转换电路



数控恒流源产生电路

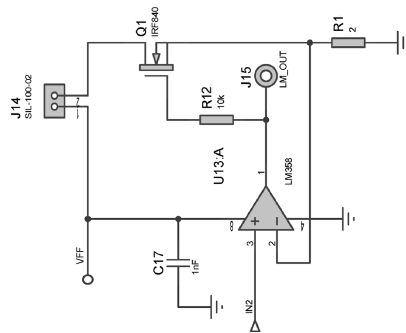


图19-23 电路整体原理图

挡位电压值。本设计满足数控直流稳流电源电路的设计要求。



PCB 版图（见图 19-24）

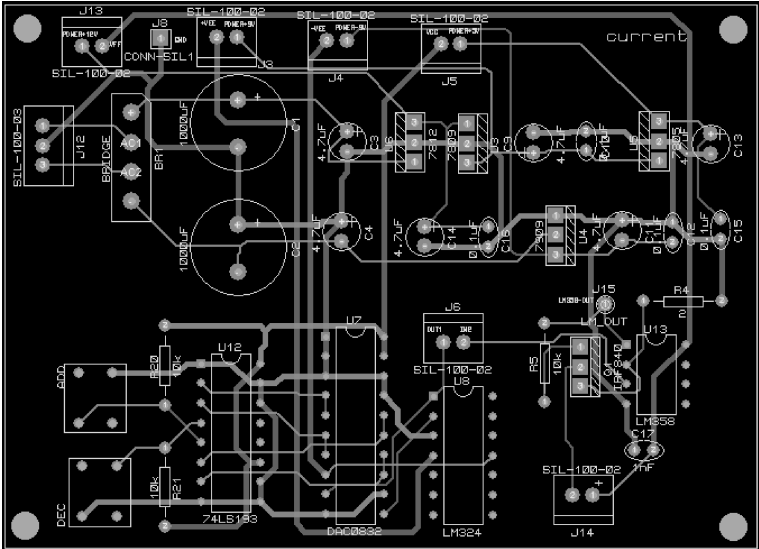


图 19-24 数控直流稳流电源电路 PCB 版图



实物图（见图 19-25）

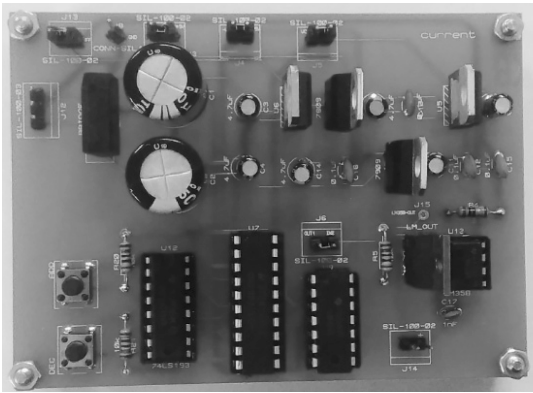


图 19-25 数控直流稳流电源电路实物图



## 项目总结

本项目采用 4 位二进制可逆加减计数器 74LS193 输出可以随按键触发而加减的 4 位二进制数字量，通过数模转换电路将数字量转换为模拟电压量，这个模拟电压量就是一个可控的基准电压量。基准电压输入到运算放大器的同相输入端，通过负反馈作用，使比较放大器的输出端电压与输入端的电压相等，该电压除以固定电阻即可得到随电压变化的可控电流。在负载变化的情况下，本项目设计的数控直流稳流电源可以根据当前按键设定值稳定输出恒流正常工作。



## 思考与练习

(1) 场效应管 IRF840 有什么特点？

答：IRF840 属于第三代 Power MOSFETs，特点是噪声低、输入阻抗高、开关速度快。典型应用为：电子镇流器、电子变压器、开关电源等。

(2) 数控恒流源产生电路中，为什么选择场效应管而不选择三极管？

答：最常用的简易恒流源用两只同型三极管，利用三极管相对稳定的 b-e 电压作为基准。为了能够精确控制输出电流，通常使用一个运放作为反馈，同时使用场效应管避免三极管的 b-e 电流导致的误差，有助于提高恒流源的精度。如果电流不需要特别精确，其中的场效应管也可以用三极管代替。



## 特别提醒

(1) 由于实验室的电阻均为 1/4W 的功率，再结合电流源的输出电流即流过固定电阻  $R_4$  的电流  $I_R = U_{IN2}/R_4$  综合考虑，既要保证  $I_R$  不超过所选电阻额定功率下的额定电流，又要保证有合适数目的输出电流挡位，经过调试，选择  $R_4$  为  $20.5\Omega$ 。

(2) 当固定电阻相等时，如果需要输出电流挡位增多，即可以输出较大挡位的电流值，则需要更换较大功率的电阻。